УДК 664.1.03

MATHEMATICAL MODELLING AND OPTIMIZATION OF REDUCING SUBSTANCES DECOMPOSITION IN THE PROCESS OF LIMING OF CANE RAW SUGAR MELT LIQUOR

N. Gusyatinska, N. Romanchenko
National University of Food Technologies

Key words:
Melt liquor
Cane raw sugar
Sucrose
Reducing substances
Purification

Article history:
Received 08.07.2014
Received in revised form 22.07.2014
Accepted 29.07.2014

Corresponding author:
N. Romanchenko
N. Gusyatinska
E-mail:
NataRomano@ukr.net
NGusyatinska@ukr.net

ABSTRACT

During the processing of cane raw sugar to sugar beet plants an important objective is to maximize the decomposition of degenerated substances providing the slightest decomposition of sucrose, which requires specification of optimal process parameters of hot lime, depending on the initial content of degenerated substances in source melt liquor. To this end, and in order to predict the process effectiveness, a mathematical model has been developed considering temperature, duration and pH20 of the liming process. Experimental research which consisted in modeling the process of degenerated substances decomposition in terms of handling cane raw sugar melt liquor with calcium hydroxide has been conducted. The equation of regression of degenerated substances content in melt liquor and degree of decomposition temperature, duration and pH20 of the liming process have been obtained.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗКЛАДАННЯ РЕДУКУВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ПРИ ОЧИЩЕННІ КЛЕРОВКИ ТРОСТИННОГО ЦУКРУ-СИРЦЮ

Н.А. Гусятинська, Н.М. Романченко
Національний університет харчових технологій

Під час перероблення тростинного цукру-сирцю на бурякоцукрових заводах важливим завданням є максимальне розкладання редукувальних речовин за умови найменшого розкладання сахарози, що вимагає уточнення оптимальних параметрів процесу гарячого вапнування залежно від початкового вмісту редукувальних речовин у вихідній клеровці. З цією метою, а також для прогнозування ефективності процесу розроблена математична модель з урахуванням температури, тривалості та pH_{20} процесу вапнування. Проведено експериментальні дослідження шляхом моделювання процесу розкладання редукувальних речовин в умовах оброблення гідроксидом кальцію клеровки тростинного цукру-сирцю. Одержано рівняння регресії вмісту редукувальних речовин у клеровці та ступеня їх розкладання від температури, тривалості та pH_{20} процесу вапнування.

Ключові слова: *клеровка, тростинний цукор-сирець, сахароза, редукувальні речовини, очищення.*

Пріоритетним завданням економіки України є забезпечення стабільного ринку харчової продукції, в тому числі цукру, що потребує здійснення комплексу заходів щодо підвищення якості сировини, впровадження сучасних технологічних рішень в оптимізації процесів та обладнання. У зв'язку зі вступом України до СОТ збільшилася частка цукру-сирцю, що переробляється на цукрових заводах у білий цукор. З огляду на те, що у світі відбувається зростання обсягів споживання цукру, підвищення ефективності переробки тростинного цукру-сирцю є актуальним завданням.

Вагомий внесок у розроблення технології зберігання й перероблення тростинного цукру-сирцю зробили вітчизняні та зарубіжні вчені Л.П. Рева, І.Ф. Бугаєнко, В.О. Штангеєв, Р.Ц. Міщук, О.Р. Сапронов, Г.Н. Міхатова, В.А. Голибін, М.І.Єгорова, Т.П. Хвалковський та ін. Поряд з цим, потребують подальшого вивчення ряд питань, пов'язаних з розробленням сучасних способів інтенсифікації технологічних процесів, спрямованих на підвищення ефективності вапнокарбонізаційного очищення клеровок.

Відомо, що склад цукру-сирцю залежить від багатьох факторів: сорту тростини, кліматичних умов її вирощування, способу збирання, технологічної схеми переробленнятощо. Загалом, нецукри, що входять до складу цукру-сирцю, здійснюють негативний вплив на технологічний процес, погіршують якість білого цукру та зменшують його вихід. Необхідно також зазначити, що якість цукру-сирцю, який надходить у перероблення для одержання білого цукру, значно відрізняється. Так, до складу тростинного цукру-сирцю входить 0,3…1,0 % редукувальних речовин, 98 % з яких — глюкоза і фруктоза. При цьому вміст глюкози становить близько 60 %, а фруктози — близько 40 % [1]. Високий вміст редукувальних речовин пояснюється особливостями технології одержання цукру-сирцю з тростини, що полягає в проведенні процесу очищення соку у м'якому лужному режимі (0,1 % CaO та pH_{20} 7,5), внаслідок чого редукувальні речовини не повністю розкладаються і під час кристалізації частково залишаються в плівці міжкристального розчину на поверхні кристалів цукру-сирцю. Редукувальні речовини в нейтральному та кислому середовищах при наявності окисників досить легко окиснюються. В лужному середовищі стійкість моносахаридів різко зменшується. При цьому гексози піддаються ізомерним перетворенням і розкладаються. З підвищенням температури і збільшенням концентрації лугу ці процеси прискорюються й ускладнюються [2, 3].

Продукти розкладання редукувальних речовин взаємодіють з іонами кальцію з утворенням розчинних солей, які недостатньо повно адсорбуються під час очищення цукровмісних розчинів на поверхні карбонату кальцію [1]. За рахунок цього підвищується вміст солей кальцію в очищеній клеровці. В той же час, у разі неповного розкладання редукувальних речовин під час очищення клеровки тростинного цукру-сирцю, перебіг цього процесу продовжується на стадії уварювання утфелів, що, відповідно, призводить до значного підвищення кольоровості продуктів і білого цукру.

У технології переробки тростинного цукру-сирцю питання впливу редукувальних цукрів, враховуючи їх кількість у напівпродуктах виробництва та складний механізм хімічних перетворень, має велике значення.

Необхідно зазначити, що інформація про вплив редукувальних цукрів у технологічному процесі, наведена в науковій літературі, містить певні розбіжності. Деякі автори [4, 5] вважають, що редукувальні цукри відіграють позитивну роль у кристалізації та мелясоутворенні: зменшують в'язкість міжкристальної рідини, знижують розчинність сахарози, а також чистоту кінцевого відтоку — меляси. Інші вважають, що редукувальні цукри мають велику мелясотворну здатність, тому важливим є забезпечення процесу повного їх розкладання під час вапнування клеровки з подальшим видаленням продуктів розкладу шляхом адсорбції на осаді $CaCO_3$ або активному вугіллі [6, 7].

При порівнянні ролі редукувальних цукрів і продуктів їх лужного розкладання підкреслюється[7, 8], що продукти розкладання є більш шкідливими для виробництва, оскільки підвищують в'язкість розчинів, що, у свою чергу, впливає на швидкість кристалізації сахарози, коефіцієнт мелясоутворення і втрати сахарози в мелясі.

Враховуючи думки багатьох дослідників щодо негативного впливу продуктів лужного розкладання редукувальних цукрів на перебіг технологічних процесів, доцільно проводити технологічний процес вапнування клеровки з метою досягнення найбільш повного розкладання редукувальних речовин за умови мінімального розкладання сахарози [9]. При цьому важливим завданням є забезпечення більш повного видалення продуктів розкладання, в тому числі барвних речовин, під час вапно-карбонізаційного очищення клеровки.

Мета: дослідження процесу розкладання редукувальних речовин на стадії гарячого вапнування клеровки тростинного цукру-сирцю з метою встановлення емпіричних залежностей, що описували б ефективність цього процесу від ряду факторів, зокрема температури й тривалості, з урахуванням початкового вмісту редукувальних речовин у вихідній клеровці.

Експериментальні дослідження проводилися шляхом моделювання процесу вапнування клеровки тростинного цукру-сирцю в діапазоні витрат CaO, що відповідали значенням pH_{20} — 8…12; температурного режиму 75...90 °С; тривалості процесу — 5…25 хв.

Дослідження здійснювали таким чином: вихідний тростинний цукор-сирець клерували протягом 10 хв за температури 70 °С. Одержану клеровку з вмістом сухих речовин 50 % розділяли на порції, які підлягали вапнуванню за визначених умов. Через певні проміжки часу — 5, 10, 15, 20 і 25 хв відбирали проби клеровки тростинного цукру-сирцю, в яких визначали вміст редукувальних речовин за методом Берлінського інституту цукрової промисловості (з використанням реактиву Мюллера). Вихідний вміст редукувальних речовин у клеровці складав 0,436 % до маси клеровки. На рис. 1, 2 наведено залежності вмісту редукувальних речовин від тривалості й температури процесу вапнування. Аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що максимальне розкладання редукувальних речовин клеровки тростинного цукру-сирцю досягається за значень pH_{20}=12, температури процесу 85…90 °С та тривалості 8...12 хв. За результатами експериментальних досліджень роз-

раховано ефект розкладання редукувальних речовин клеровки тростинного цукру-сирцю під час проведення процесу вапнування.

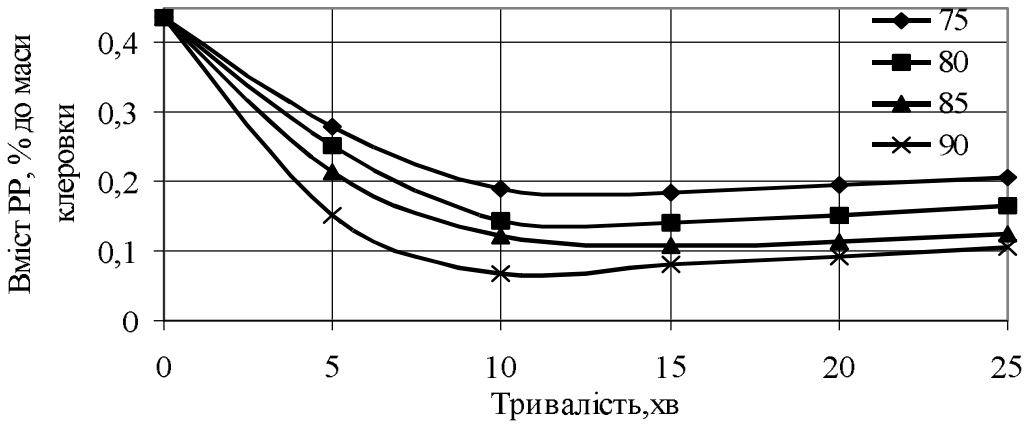

Рис. 1. Залежність вмісту редукувальних речовин від тривалості процесу вапнування за різних температур і pH_{20} =11

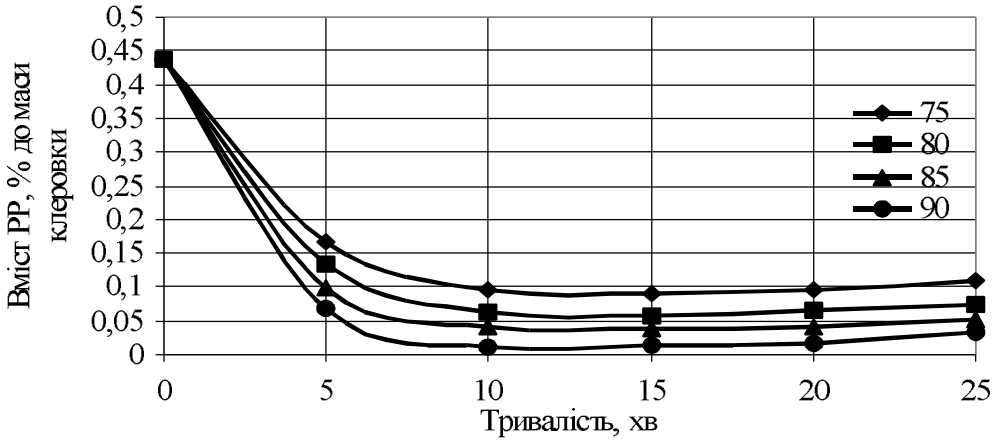

Рис. 2. Залежність вмісту редукувальних речовин від тривалості процесу за різних температур і pH_{20} =12

Отримані результати представлено у вигляді графічних залежностей на рис. 3, 4.

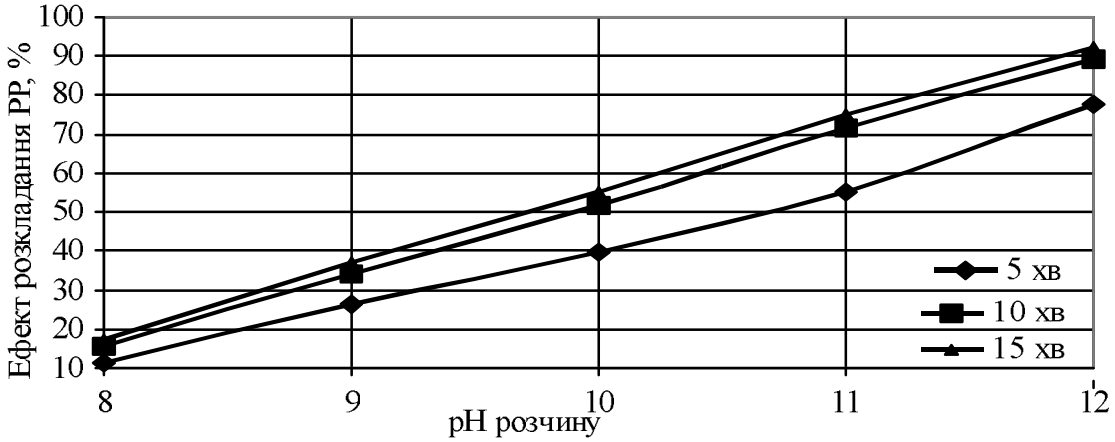

Рис. 3. Залежність ефекту розкладання редукувальних речовин від pH20 розчину за температури 85 °С

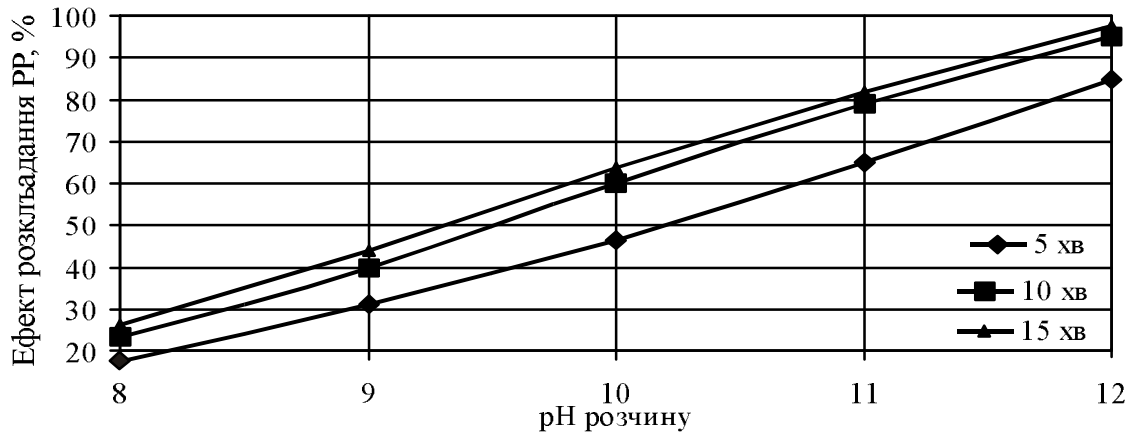

Рис. 4. Залежність ефекту розкладання редукувальних речовин від pH20 розчину за температури 90 °С

Аналіз наведених залежностей (рис. 3, 4) свідчить про збільшення ефекту розкладання редукувальних речовин з підвищенням значення pH_{20} і температури процесу вапнування. Досягнення найбільшого ефекту розкладання редукувальних речовин спостерігалося за значень pH_{20} — 11,0…12,0; температури — 80…90 °С, тривалості процесу основного вапнування 7…12 хв. Ефект розкладання редукувальних речовин за цих умов становив 90…95 %. При подальшому збільшенні тривалості процесу основного вапнування спостерігалося незначне підвищення ефекту розкладання редукувальних речовин. Витрати вапна за такого технологічного режиму очищення клеровки цукру-сирцю становили 1,0…1,5 % CaO до маси клеровки.

Сучасні методи оптимізації технологічних процесів потребують розроблення математичної моделі на основі експериментальних даних, одержаних при зміні основних параметрів, що впливають на об'єкт дослідження [11]. Нами проведено математичне моделювання з метою встановлення емпіричних рівнянь, які б описували процес розкладання редукувальних речовин під час очищення клеровки тростинного цукру-сирцю. Вибір рівнянь, розрахунок та уточнення коефіцієнтів рівнянь регресій здійснювали за допомогою пакета прикладних програм Mathcad Professional. У результаті математичного моделювання одержано рівняння (1, 2) залежності вмісту редукувальних речовин (РР), а також ефекту розкладання (ЕР) редукувальних речовин у клеровці від температури, тривалості та pH_{20} процесу вапнування:

$$PP=0{,}813+0{,}003\ x_1-0{,}007\ x_2-0{,}003\ x_3+0{,}00001\ x_1x_2-0{,}0009\ x_1x_3-0{,}002\ x_2x_3-$$
$$-0{,}00001\ x_1^2+0{,}0008\ x_2^2+0{,}0014\ x_3^2; \quad (1);$$

$$EP=-70{,}112-0{,}82\ x_1+1{,}596\ x_2-1{,}128\ x_3-0{,}02\ x_1x_2+0{,}207\ x_1x_3+0{,}542\ x_2x_3-$$
$$-0{,}003\ x_1^2-0{,}187\ x_2^2-0{,}23\ x_3^2, \quad (2)$$

де x_1 — температура, °С; x_2 — тривалість, хв; x_3 — pH_{20}.

Відносна похибка показників отриманих рівнянь знаходиться в межах допустимих значень. Проведена перевірка математичної моделі підтвердила її адекватність. За наведеними рівняннями регресії встановлено залежність тривалості процесу вапнування клеровки тростинного цукру-сирцю від по-

чаткового вмісту редукувальних речовин у клеровці тростинного цукру-сирцю й температури процесу. Так, на основі розв'язання рівняння (2) за встановлених меж температури процесу вапнування — 75…90 °С і тривалості— 2…15 хв одержано залежність ефекту розкладання редукувальних речовин (ER(T, t)) для заданого значення pH=12:

$$ER(T,\,t) = \left(-745{,}797 + 17{,}716 \cdot T - 0{,}096 \cdot T^2\right) \cdot e^{\left(0{,}127 - 1{,}575 \cdot 10^{-3} \cdot T + 4{,}969 \cdot 10^{-6} \cdot T^2\right) \cdot t}, \quad (3)$$

де T — температура процесу вапнування, °С; t — тривалість процесу вапнування, хв.

З рівняння (3) визначено залежності ефекту розкладання РР (рівняння 4, 5) для заданих температур 80, 85 °С . Ефект розкладання РР:

за температури 80 °С:

$$ER80(t) = 57{,}621 \cdot e^{0{,}033 \cdot t}; \quad (4)$$

за температури 85 °С:

$$ER85(t) = 67{,}073 \cdot e^{0{,}029 \cdot t}. \quad (5)$$

Виходячи з рівнянь 4 і 5 одержано залежності тривалості процесу вапнування (при заданих температурах) від початкового вмісту редукувальних речовин (x):

за температури 80 °С:

$$t = \frac{\ln\left(1{,}735 - \frac{0{,}087}{x}\right)}{0{,}033}; \quad (6)$$

за температури 85 °С:

$$t = \frac{\ln\left(1{,}491 - \frac{0{,}075}{x}\right)}{0{,}029}. \quad (7)$$

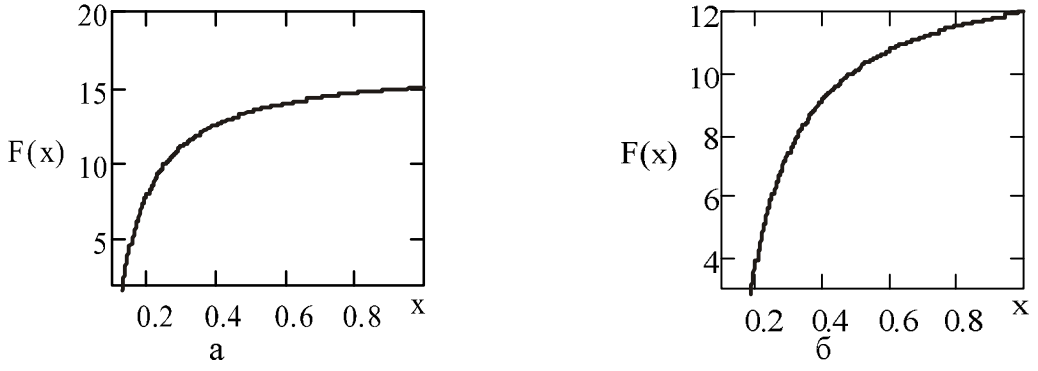

Рисунок 3. Залежність тривалості процесу вапнування від початкового вмісту редукувальних речовин у клеровці: а — температура 80 °С; б — температура 85 °С; F(x) — тривалість процесу вапнування, хв.; x — початковий вміст редукувальних речовин у клеровці, %

Аналіз наведених залежностей свідчить, що при встановленні оптимальної тривалості процесу гарячого вапнування необхідно враховувати вихідний вміст

редукувальних речовин у клеровці тростинного цукру-сирцю, оскільки у разі збільшення тривалості процесу поряд з розкладанням редукувальних речовин буде відбуватиметься перебіг реакцій інверсійного розкладу сахарози, що є небажаним. У середньому технологічні параметри процесу вапнування становлять: температура — 80…90 °С; тривалість — 7…12 хв; pH_{20} = 11,0…12,0. Використовуючи одержане рівняння регресії (3), можна моделювати параметри технологічного процесу вапнування клеровки тростинного цукру сирцю з урахуванням вмісту редукувальних речовин у клеровці тростинного цукру-сирцю до та після проведення процесу вапнування.

Висновки

На основі проведених експериментальних досліджень виявлено залежності ефекту розкладання редукувальних речовин від температури й тривалості процесу вапнування клеровки тростинного цукру-сирцю. Використання методів математичного моделювання дало змогу отримани рівняння регресії, що описують залежність ефекту розкладання редукувальних речовин від температури, значення pH і тривалості процесу. Також одержано рівняння, за якими розраховується оптимальне значення тривалості процесу вапнування з метою досягнення найвищого ефекту розкладання редукувальних речовин з урахуванням їх початкового вмісту у клеровці. Встановлено, що оптимальні параметри процесу гарячого вапнування знаходяться в таких межах: температура — 80…90 °С; тривалість процесу — 7…12 хв; pH_{20} — 11,0…12,0.

Література

1. *Бугаенко И.Ф.* Повышение эффективности переработки тростникового сахара-сырца / Бугаенко И.Ф. — М. : Теллер, 2000. — 296 с.

2. *Нахманович М.И.* Реакции моносахаридов / Нахманович М.И. — М.: Пищепромиздат.,1960. — С. 32.

3. *Shneider F.* Dagradation des sucres / F. Shneider // Compte—rendu de la Assamble. — 1957. — 32.

4. *Зеликман И.Ф., Абдурамидов Т.Р.* Характер несахаров тростниково-сахарного производства / И.Ф. Зеликман, Т.Р. Абдурамидов // Сахарная промышленность. — 1960. — № 9. — С. 19—22.

5. *Hartl J.* Rafinace trtinove suroviny / J. Hartl // Licty cukrovarnicke. — Praha; 1962. — 1978. — № 1. — P. 7—14.

6. *Добжицкий Я.* Очистка соков в сахарном производстве / Я. Добжицкий// Перевод с польского. — М.: Пищевая промышленность, 1964. — С. 14 — 16, 46, 65, 67, 26.

7. *Палаш В.П.* Влияние реакции щелочного распада инвертного сахара на вязкость сахарных растворов и на меласообразование / В.П. Палаш // Известия высших учебных заведений. — Краснодар: Пищевая технология. — 1965. — № 6. — С. 21—23.

8. *Палаш В.П.* О роли редуцирующих веществ в технологии сахарного производства / В.П. Палаш, С.З. Іванов // Сахарная промышленность. — 1967. — № 9. — С. 10—13.

9. *Селягина Н.А.* Совершенствование технологической схемы при переработке сахара-сырца// Сахар. — 2004. — № 3. — С. 47—50.

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗЛОЖЕНИЯ РЕДУЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ОЧИСТКЕ КЛЕРОВКИ ТРОСТНИКОВОГО САХАРА-СЫРЦА

Н.А. Гусятинская, Н.М. Романченко
Национальный университет пищевых технологий

При переработке тростникового сахара-сырца на свеклосахарных заводах важной задачей является максимальное разложение редуцирующих веществ при условии наименьшего разложения сахарозы, что требует уточнения оптимальных параметров процесса горячей преддефекации в зависимости от начального содержания редуцирующих веществ в исходной клеровке. С этой целью, а также для прогнозирования эффективности процесса разработана математическая модель с учётом температуры, продолжительности и pH_{20} процесса преддефекации. Проведены экспериментальные исследования на основе моделирования процесса разложения редуцирующих веществ в условиях обработки гидроксидом кальция клеровки тростникового сахара-сырца. Получены уравнения зависимости содержания редуцирующих веществ в клеровке и степени их разложения от температуры, продолжительности и pH_{20} процесса дефекации.

Ключевые слова: *клеровка, тростниковый сахар-сырец, сахароза, редуцирующие вещества, очищение.*