

УДК 547.458.2:66.065.5

О.В. Подобій, канд. техн. наук

В.О. Мірошник, канд. техн. наук

О.М. Мірошников, канд. хім. наук

Національний університет харчових технологій

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОВЕДЕННЯ
ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЦУКРОЗИ ПРИ ДОДАВАННІ
ХІМІЧНОГО РЕАГЕНТУ**

Проведено оптимізацію процесу кристалізації цукрози методом Харрінгтона і визначено оптимальні параметри проходження процесу кристалізації цукрози при додаванні хімічного реагенту.

Ключові слова: *оптимізація, оптимальні параметри, цукроза, кристалізація.*

Проведена оптимизация процесса кристаллизации сахарозы с использованием метода Харрингтона и определены оптимальные параметры прохождения процесса кристаллизации сахарозы при добавлении химического реагента.

Ключевые слова: *оптимизация, оптимальные параметры, сахароза, кристаллизация.*

Optimization of process crystallization of sucrose solution using method Harrington was studied and the optimum parameters of process crystallization of sucrose solution with additive chemical reagents were defined.

Key words: *optimization, optimum parameters, sucrose, crystallization.*

Інтенсифікація процесу кристалізації цукрози, досягнення максимального економічного ефекту та підвищення виходу цукру можливе за рахунок додаткового знецукрення меляси. Кристалізація цукру із розчинів є одним із основних процесів цукрового виробництва, який визначає вихід кристалічного цукру. Враховуючи важливість цього процесу і вивчається вплив ПАР на процес

розчинення та кристалізації цукрози.

Результатами попередніх досліджень доведено, що для зменшення розчинності цукрози за даними фізичними параметрами розчину, необхідне створення умов, полегшуючих міжмолекулярну взаємодію молекул цукрози, тобто їх асоціацію. Іншими словами, необхідне створення умов послаблення сольватації молекул цукрози молекулами води і нецукрів, здатних до іон-дипольної або диполь-дипольної взаємодії. Це досягається шляхом введенням добавок сполук, здатних до інтенсивної ближньої гідратації, або введенням речовин, ініціюючих ефект дальньої гідратації [1]. Тому нашим завданням є встановлення оптимальних параметрів проведення процесу кристалізації цукрози із утфелю останньої кристалізації при додаванні хімічного реагенту.

Оптимальним режимом кристалізації утфелю останньої кристалізації слід вважати такий, який забезпечує зниження чистоти меляси. Серед факторів, від яких залежить вихід цукру є сухі речовини і вміст цукрози. Тому для вирішення задачі оптимізації в якості параметрів оптимізації було прийнято два фактори:

c – кількість трет-бутанолу, %; η – в'язкість меляси, Па·с. Вплив інших факторів вважався несуттєвим.

Для вирішення задачі оптимізації процесу кристалізації цукрози із утфелю останньої кристалізації використано узагальнений критерій оптимізації, який дозволяє єдиним кількісним показником узагальнити декілька обраних локальних критеріїв оптимальності [2]:

$$F = \prod_{i=1}^n f_i(x)^{\lambda_i} \rightarrow \max \quad (1)$$

де: $f_i(x)$ – локальні критерії оптимальності в безрозмірній формі; λ_i – вагові коефіцієнти, $i=1 \dots 5$.

Для оцінки ефективності процесу кристалізації цукрози було обрано наступні локальні критерії (в натуральній формі):

$f_1(x)$ – коефіцієнт насичення;

$f_2(x)$ – в'язкість меляси, Па·с;

$f_3(x)$ – чистота меляси, %.

Решта факторів вважаються постійними.

Перший та другий вихідні параметри найповніше характеризують процес кристалізації цукрози. Вихідним параметром, який накладає обмеження на шляху просування до оптимуму, було обрано кількість трет-бутанолу. Його кількість обмежена якістю готової продукції.

Розв'язання задачі оптимізації передбачає одержання математичної моделі для вираження залежності вихідних параметрів процесу від вхідних факторів [3]. Для розроблення математичної моделі було застосовано центральний композиційний рототабельний план двох факторного експерименту, рівні факторів та інтервали варіювання представлені в таблиці.

Рівні факторів та інтервали варіювання

Рівні факторів	Чистота м'яси, %	в'язкість м'яси, Па·с	кількість трет-бутанолу, %
	X ₁	X ₂	X ₃
Нижній рівень	55,0	0,15	0,15
Основний рівень	60,0	0,20	0,20
Верхній рівень	65,0	0,25	0,25
Інтервал варіювання	5,0	0,5	0,5

В процесі досліджень кристалізацію проводили в мішалках-кристалізаторах при охолодженні зі змінною швидкістю від 50 до 20 °С з розрахунку, щоб кінцевий вміст кристалів в утфелі не перевищував 45%. В процесі кристалізації швидкість обертання перемішуючого пристрою змінювали від 0,14...0,16 м/с на початку процесу до 0,03...0,05 м/с в кінці процесу. В мішалку-кристалізатор додавали добавку хімічного реагенту (трет-бутанол) x у кількості 0,15...0,25 % до маси утфелю останньої кристалізації за допомогою

дозуючого пристрою, згідно плану експерименту. Утфель центрифугували на лабораторній центрифугі і в міжкристальному розчині визначали технологічні параметри: коефіцієнт насичення α' , в'язкість η , Па·с та чистоту ζ , %.

Вибір рівнянь, розрахунок та уточнення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювали за допомогою програм MathCAD Professional 2000 з використанням методу найменших квадратів.

Використання узагальненого критерію оптимізації вимагає перетворення локальних критеріїв оптимальності з натуральної в безрозмірну форму, яке здійснювали методом Харрінгтона [4] через значення проміжних параметрів y_k за допомогою функції бажаності:

$$f_k(x) = \exp[-\exp(-y_k)] \quad (2).$$

Шкала бажаності має інтервал від 0,01 до 0,99. В таблиці бажаності для кращого відображення критеріїв інтервал 0,01...0,99 поділений на п'ять частин. 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”.

Для вирішення задачі оптимізації процесу кристалізації утфелю останньої кристалізації використано пакети прикладних програм MathCAD Professional 2000 переведення одного із локальних критеріїв оптимізації в безрозмірну форму (0,01...0,99) методом Харрінгтона (індекси починаються з 0), було знайдено значення проміжних параметрів.

Значення локального критерію (i -ті) оптимізації в натуральній формі і проміжного параметра беруться з таблиці, де $i = 1, 2, \dots, 6$.

Критерієм оптимізації буде узагальнений критерій оптимізації

$$F(x) = f_1(x)^{a_1} f_2(x)^{a_2} f_3(x)^{a_3} \rightarrow \max, \quad (3)$$

в якому локальні критерії оптимізації в безрозмірній формі $f_i(x)$ будуть визначатись залежно від проміжного параметра y_i :

$$y_i = \frac{x_i}{\alpha_i}, \quad (4)$$

де i – номер параметра.

Використовуючи програму інтерполяції на всьому діапазоні точок за допомогою квадратичної інтерполяції та поліному Лагранжа досліджено, як впливає зміна одного із вихідних параметрів: кількість трет-бутанолу $x_1 = x$, коефіцієнт насичення $x_2 = \alpha'$ на параметри оптимізації процесу: чистоту меляси $F1$ та в'язкість меляси $F2$. Після виконання оптимізації записують значення узагальненого критерію оптимізації і оптимальні значення параметрів оптимізації. Цю операцію проводять декілька разів за заданої зміни одного із вихідних параметрів.

Узагальнене рівняння оптимізації процесу кристалізації цукрози з урахуванням рівних вагових коефіцієнтах: $FU1_j := (F1_j)^{0,33} \cdot (F2_j)^{0,33} \cdot (F3_j)^{0,33}$, де $F1$ – чистота меляси; $F2$ – в'язкість меляси; $F3$ – кількість трет-бутанолу та узагальнене рівняння оптимізації процесу кристалізації цукрози з урахуванням важливості чистоти меляси $FU2_j := (F1_j)^{0,5} \cdot (F2_j)^{0,25} \cdot (F3_j)^{0,25}$, де вагові коефіцієнти матимуть такі значення $\lambda_1=0,5$; $\lambda_2=0,25$; $\lambda_3=0,25$.

За допомогою програми оптимізації процесу кристалізації утфелю останньої кристалізації зображено лінії, які дозволяють знайти оптимальне значення кількості трет-бутанолу. Оптимальна кількість трет-бутанолу згідно (рис.1, крива 1) складає 0,18...0,2 %, а з урахуванням важливості чистоти меляси 0,19...0,22 % (рис.1, крива 2).

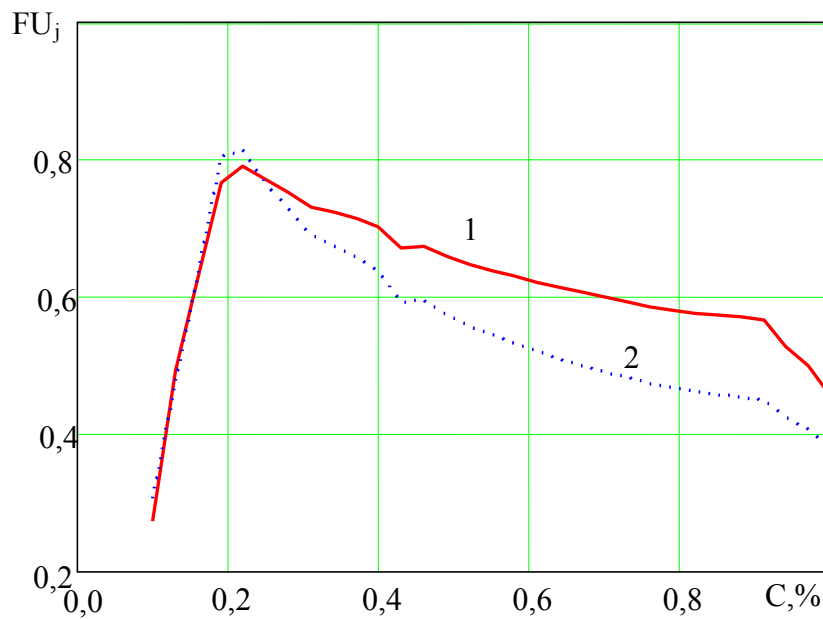


Рис. 1. Залежність узагальненого критерія оптимізації від кількості трет-бутанолу (С) при рівних вагових критеріях (крива 1) та з урахуванням важливості чистоти м'яса (крива 2)

Висновки. В результаті проведення оптимізації процесу кристалізації цукрози із міжкристального розчину утфелю останньої кристалізації встановлено оптимальну кількість добавки трет-бутанолу до утфелю останньої кристалізації з метою збільшення виходу цукру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобрівник Л.Д., Подобій О.В. Деякі питання ролі води і нецукрів в мелясоутворенні // Цукор України. – 2006. – №5. – С.15-18.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
3. Аністратенко В.О., Федоров В.Г. Математичне планування експериментів в АПК. – К.: Вища школа, 1993. – 375 с.
4. Пытьев Ю.П. Методы анализа и интерпретация эксперимента. – М.: Изд-во, 1990. – 288 с.

Надійшла до редколегії 30.03.10 р.