

Гранулометрический состав кристаллов сахара II и III кристаллизации

Б. В. КУЗЬМЕНКО, В. О. ШТАНГЕЕВ,
А. К. СУЩЕНКО, А. В. ВЛАСЕНКО
УКРНИИСП
В. Н. АНТОНОВСКИЙ
Российский НИИ СП
В. Г. МИРОНЧУК
КТИП

Для обработки утфелей низших ступеней кристаллизации широко применяются центрифуги непрерывного действия большой единичной мощности, позволяющие перерабатывать утфели различного качества. Результаты их эксплуатации на сахарных заводах показывают повышение чистоты мелассы на 2—3 % по сравнению с чистотой межкристалльного раствора утфеля. Причина увеличения содержания сахара в мелассе заключается в высокой массовой доле фракций мелких кристаллов, проходящих через сита центрифуг. Ее можно снизить, улучшив гранулометрический состав кристаллов сахара в утфеле (к моменту окончания уваривания и непосредственно перед центрифугированием). Один из путей решения этой задачи состоит в подборе технологических и других показателей процесса, для чего, в свою очередь, необходимо изучить влияние последних на гранулометрический состав кристаллов.

К основным показателям гранулометрического состава кристаллов сахара относятся: средний ($\bar{r}$) и средневзвешенный ($\bar{r}_m$) линейные размеры кристаллов, а также обычный (K_n) и линейно-массовый (K_{mr}) коэффициенты неравномерности. Каждый из этих показателей можно определить в результате микрофотографического и ситового анализа [1] по следующим расчетным методикам.

Микрофотографический анализ:

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i,$$

$$K_n = \sqrt{-1 + N \left(\sum_{i=1}^N r_i^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^N r_i \right)^2}, \quad (1)$$

$$\bar{r}_m = \left(\sum_{i=1}^N r_i^4 \right) / \left(\sum_{i=1}^N r_i^3 \right),$$

$$K_{mr} = \sqrt{-1 + \left(\sum_{i=1}^N r_i^5 \right) \left(\sum_{i=1}^N r_i^3 \right) / \left(\sum_{i=1}^N r_i^4 \right)^2}, \quad (2)$$

где N — число кристаллов в поле микрофотографии; r_i — линейный размер i -го кристалла.

Ситовый анализ (рассев):

$$\bar{r}_m = \left(\sum_{i=0}^{N_c} m_i d_i \right) / \left(\sum_{i=0}^{N_c} m_i \right), \quad K_{mr} = \sqrt{-1 + \left(\sum_{i=0}^{N_c} m_i d_i^2 \right) \left(\sum_{i=0}^{N_c} m_i \right) / \left(\sum_{i=0}^{N_c} m_i d_i \right)^2}, \quad (3)$$

$$\bar{r} = \left(\sum_{i=0}^{N_c} \frac{m_i}{d_i} \right) / \left(\sum_{i=0}^{N_c} \frac{m_i}{d_i^2} \right), \quad K_n = \sqrt{-1 + \left(\sum_{i=0}^{N_c} \frac{m_i}{d_i} \right) \left(\sum_{i=0}^{N_c} \frac{m_i}{d_i^2} \right) / \left(\sum_{i=0}^{N_c} \frac{m_i}{d_i^3} \right)^2}, \quad (4)$$

где N_c — число сит; m_i , d_i — масса (массовая доля или процент массы) и линейный размер остатка кристаллов на i -м сите; $d_i = 0,5(\rho_i + \rho_{i+1})$; $\rho_0 = 0$, $\rho_{N_c+1} = \rho_{N_c}$; ρ_i — размер отверстий i -го сита.

В случае аппроксимации кривой распределения кристаллов по размерам функцией гамма-распределения Пирсона связь между $\bar{r}$, K_n , $\bar{r}_m$, K_{mr} выражается формулами [2]:

$$K_{mr} = K_n / \sqrt{1 + 3K_n^2},$$

$$\bar{r}_m = (1 + 3K_n^2) \bar{r}; \quad (5)$$

$$K_n = K_{mr} / \sqrt{1 - 3K_{mr}^2},$$

$$\bar{r} = (1 - 3K_{mr}^2) \bar{r}_m, \quad K_{mr} < 0,577. \quad (6)$$

Влияние технологических и других показателей на гранулометрический состав кристаллов сахара II и III ступеней кристаллизации мы изучали в производственных условиях на Ольшанском и Шрамковском сахарных заводах в сезон 1989/90 г.

При исследовании гранулометрического состава кристаллов в утфеле и желтого сахара II кристаллизации варьировались технологические показатели: аффинационный утфель — содержание сухих веществ и чистота первого оттека утфеля I кристаллизации (CB₀₁, Ч₀₁); конечный утфель — содержание сухих веществ и чистота оттека утфеля II кристаллизации (CB_{2от}, Ч_{2от}). Зависимости размеров кристаллов и коэффициентов неравномерности от этих показателей имеют следующий вид.

Аффинационный утфель:

$$\bar{r}_m = (1,807\text{Ч}_{01} - 1,358\text{CB}_{01}) \cdot 10^{-5}, \text{ м};$$

$$K_{mr} = (6,493\text{Ч}_{01} - 2,493\text{CB}_{01}) \cdot 10^{-3}; \quad (7)$$

$$\bar{r} = (21,080\text{Ч}_{01} - 7,653\text{CB}_{01}) \cdot 10^{-7}, \text{ м};$$

$$K_n = (2,631\text{Ч}_{01} - 1,539\text{CB}_{01}) \cdot 10^{-1}.$$

Конечный утфель II кристаллизации:

$$\bar{r}_m = (3,625\text{CB}_{2от} - 3,541\text{Ч}_{2от}) \cdot 10^{-5}, \text{ м};$$

$$K_{mr} = (3,768\text{Ч}_{2от} - 2,812\text{CB}_{2от}) \cdot 10^{-2}; \quad (8)$$

$$\bar{r} = (4,379\text{CB}_{2от} - 4,803\text{Ч}_{2от}) \cdot 10^{-5}, \text{ м};$$

$$K_n = (2,243\text{Ч}_{2от} - 1,881\text{CB}_{2от}) \cdot 10^{-1}.$$

Желтый сахар II кристаллизации:

$$\bar{r}_m = (3,591\text{CB}_{2от} - 4,021\text{Ч}_{2от}) \cdot 10^{-5}, \text{ м};$$

$$K_{mr} = (6,216\text{Ч}_{2от} - 4,920\text{CB}_{2от}) \cdot 10^{-2}; \quad (9)$$

$$\bar{r} = (2,230\text{CB}_{2от} - 2,512\text{Ч}_{2от}) \cdot 10^{-5}, \text{ м};$$

$$K_n = (3,062\text{Ч}_{2от} - 2,602\text{CB}_{2от}) \cdot 10^{-1}.$$

Анализ полученных соотношений показывает, что $СВ_{01}$, $Ч_{01}$ оказывают противоречивое влияние на гранулометрический состав аффинационного утфеля: при увеличении среднего размера ($\bar{r}_m$, r) однородность кристаллов уменьшается, то есть увеличиваются K_{mr} , K_n и наоборот. Рост $СВ_{2k}$ и снижение $Ч_{2k}$ однозначно улучшают гранулометрический состав кристаллов сахара в конечном утфеле II, обратное изменение этих же величин ухудшают качество кристаллов. Аналогичная картина наблюдается в составе желтого сахара при росте $СВ_{2от}$ и снижении $Ч_{2от}$.

При исследовании гранулометрического состава кристаллов в утфеле и желтого сахара III кристаллизации варьировались технологические показатели: конечный утфель — содержание сухих веществ, чистота, массовое содержание кристаллов и температура в конце уваривания ($СВ_{3к}$, $Ч_{3к}$, $K_{р3к}$, $t_{3к}$); утфель перед центрифугированием — такой же набор параметров в момент времени непосредственно перед центрифугированием ($СВ_{3и}$, $Ч_{3и}$, $K_{р3и}$, $t_{3и}$); желтый сахар III кристаллизации — содержание сухих веществ и чистота мелассы ($СВ_{мел}$, $Ч_{мел}$), разница между чистой межкристалльного раствора утфеля III перед центрифугированием и чистой мелассы ($\Delta\chi$). Получены следующие зависимости.

Конечный утфель III кристаллизации:

$$\begin{aligned}\bar{r}_m &= -0,476 + 0,041\chi_{3к} - 0,017СВ_{3к} - \\ &- 0,003K_{р3к} - 0,007t_{3к}; \\ K_{mr} &= 3,418 - 0,007\chi_{3к} - 0,03СВ_{3к} + \\ &+ 0,002K_{р3к} + 0,003t_{3к}; \\ r &= -1,949 + 0,022\chi_{3к} + 0,009СВ_{3к} - \\ &- 0,001K_{р3к} - 0,004t_{3к}; \\ K_n &= 8,652 - 0,023\chi_{3к} - 0,072СВ_{3к} + \\ &+ 0,002K_{р3к} + 0,005t_{3к}.\end{aligned}\quad (10)$$

Утфель III кристаллизации перед центрифугированием:

$$\begin{aligned}\bar{r}_m &= -3,157 + 0,003\chi_{3и} + 0,031СВ_{3и} - \\ &- 0,002K_{р3и} + 0,011t_{3и}; \\ K_{mr} &= 1,945 - 0,011\chi_{3и} - 0,008СВ_{3и} + \\ &+ 0,002K_{р3и} - 0,0003t_{3и}; \\ r &= -2,905 + 0,017\chi_{3и} + 0,019СВ_{3и} - \\ &- 0,003K_{р3и} + 0,0003t_{3и};\end{aligned}\quad (11)$$

$$\begin{aligned}K_n &= 8,921 - 0,060\chi_{3и} - \\ &- 0,043СВ_{3и} + 0,009K_{р3и} - \\ &- 0,0007t_{3и}.\end{aligned}$$

Желтый сахар III кристаллизации:

$$\begin{aligned}\bar{r}_m &= -4,358 + 0,014СВ_{мел} + 0,071\chi_{мел} - \\ &- 0,081\Delta\chi;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{mr} &= 2,615 - 0,009СВ_{мел} - 0,026\chi_{мел} + \\ &+ 0,034\Delta\chi; \\ r &= -4,374 + 0,015СВ_{мел} + 0,062\chi_{мел} - \\ &- 0,076\Delta\chi; \\ K_n &= 10,185 - 0,031СВ_{мел} - 0,129\chi_{мел} + \\ &+ 0,157\Delta\chi.\end{aligned}\quad (12)$$

Как свидетельствует анализ соотношений (10) — (12), на гранулометрический состав кристаллов сахара утфеля III в конце процесса и перед центрифугированием, а также желтого сахара III кристаллизации каждый из технологических показателей оказывает однозначное воздействие. Оно состоит в том, что, увеличивая (уменьшая) r , $\bar{r}_m$, каждый из соответствующих показателей одновременно уменьшает (увеличивает) K_n , K_{mr} . Линейно-массовые показатели ($\bar{r}_m$, K_{mr}) гранулометрического состава кристаллов конечного утфеля III улучшаются (ухудшаются) при снижении (увеличении) $СВ_{3к}$, $K_{р3к}$, $t_{3к}$ и увеличении (снижении) $Ч_{3к}$. На обычные показатели гранулометрического состава кристаллов (r , K_n) все технологические данные, за исключением $СВ_{3к}$, оказывают аналогичное действие. Увеличение (снижение) $СВ_{3к}$ улучшает (ухудшает) линейно-массовые, одновременно противоположно воздействуя на обычные показатели гранулометрического состава. В этом случае следует ориентироваться на последние, поскольку они равным образом учитывают доли мелких, средних и крупных размеров кристаллов в отличие от линейно-массовых показателей, в которых все мелкие и большая часть средних фракций кристаллов нивелируются.

Гранулометрический состав кристаллов сахара в утфеле III перед центрифугированием улучшается (ухудшается) при увеличении (снижении) $Ч_{3и}$, $СВ_{3и}$, $t_{3и}$ и уменьшения (увеличении) $K_{р3и}$.

Гранулометрический состав кристаллов желтого сахара III кристаллизации становится лучше (хуже) при росте (снижении) $СВ_{мел}$, $Ч_{мел}$ и уменьшении (увеличении) $\Delta\chi$.

Соотношения (11) для гранулометрического состава кристаллов утфеля III перед центрифугированием дает возможность рассчитать массовую долю кристаллов сахара α , которые прой-

дут через сита центрифуг, повысив тем самым чистоту мелассы. Аппроксимируя дифференциальную функцию линейно-массового распределения кристаллов функцией гамма-распределения Пирсона [2], получим следующее выражение для массовой доли:

$$\alpha = [K_{mr}^2 (5000 K_{mr}^2 \bar{r}_m)^{-1/K_{mr}}] \cdot m\Gamma(K_{mr}^{-2}) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n! (n K_{mr}^2 + 1) (5000 K_{mr}^2 \bar{r}_m)^n}, \quad (13)$$

где $\Gamma(K_{mr}^{-2})$ — гамма-функция от K_{mr}^{-2} ; $n!$ — произведение всех натуральных чисел от 1 до n .

Необходимая точность расчета α может быть достигнута суммированием нескольких первых членов ряда в формуле (13), $n=0; 1; 2$, так как он является быстроходящимся. Имея полученные зависимости K_{mr} , $\bar{r}_m$ от технологических параметров процесса уваривания, расчет потерь сахара с мелассой можно выполнить по формуле (13) с учетом приведенных в данной статье рекомендаций.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузьменко Б. В., Петриченко А. Б. Стандартизация фракционного состава товарного сахара-песка на основе унификации методов сытового анализа / Сахарная и крахмалопаточная промышленность. ЦНИИТЭИпищепром. 1986. Сер. 3. Вып. 2.
- Кузьменко Б. В., Штангеев В. О., Гулый И. С. Влияние теплообмена и гидродинамики на формирование фракционного состава кристаллов в стохастических процессах массовой кристаллизации / Сб. науч. трудов Ин-та тепломассообмена им. А. В. Лыкова АН БССР. Минск. 1982.

Малое предприятие

поставляет технологическое оборудование мини-спиртзаводов на 1000—1300 л в сутки спирта-ректификата, работающих на мелассе и крахмалсодержащем сырье. Обеспечивает проектирование завода, шефмонтаж оборудования, обучение персонала;

продает комплект технической документации на изготовление технологического оборудования спиртзаводов мощностью 1000—6000 декалитров в сутки спирта-ректификата.

Телефон в Москве (095) 353-77-43.