

УДК 664.1.054

Профессор А.И. Громковский, ассистент Н.Н. Бражников,
доцент Ю.И. Последова
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии сахаристых веществ,
тел. (473) 255-07-51

Дозирование затравочных материалов в современных технологиях кристаллизации сахарозы

Расчет дозировки затравочной суспензии, холодного кристаллизата и маточного утфеля при кристаллизации сахарозы.

Calculation of a dosage of seed, cooling kristallizat, magma at sugar crystallization.

Ключевые слова: дозирование затравочного материала, затравочная суспензия, холодный кристаллизат, маточный утфель.

Традиционная технология кристаллизации сахарозы предусматривает использование для заводки кристаллов сахарную пудру. При этом дозирование сахарной пудры имеет второстепенное значение, так как она является только инициатором кристаллообразования, и количество введенных кристаллов значительно увеличивается от начала к концу процесса кристаллизации.

В современных технологиях кристаллизации сахарозы [1] для обеспечения равенства скоростей, создания пересыщения и роста кристаллов дозировка затравочных материалов проводится с учетом удельного количества кристаллов, приходящихся на единицу массы готового утфеля. Масса кристаллов сахарозы в затравке, $m_{K,0}$, кг находится по формуле;

$$m_{K,0} = m_{K,1} \cdot \left(\frac{d_{K,0}}{d_{K,1}} \right)^3 \cdot \frac{N_0}{N_1}, \quad (1)$$

где $m_{K,1}$ – масса кристаллов сахарозы в готовом утфеле, кг; $d_{K,0}$ – средний размер в затравке, мкм; $d_{K,1}$ – средний размер в готовом утфеле, мкм; N_0 – количество кристаллов в затравке, шт.; N_1 – количество кристаллов в готовом утфеле, шт.

Принимаем, что, $N_0 = N_1$ т.е. количество кристаллов не изменяется в процессе их наращивания.

Для расчета дозировки затравки по уравнению (1) представим величину $m_{K,0}$

через $m_{\text{затравка}}$, которая учитывает процентное содержание кристаллов в затравке $\omega_{\text{эд}}$:

$$m_{\text{затравка}} = \frac{m_{K,0} \cdot 100}{\omega_{\text{эд}}}. \quad (2)$$

После подстановки (2) в (1) получим

$$m_{\text{затравка}} = m_{K,1} \cdot \left(\frac{d_{K,0}}{d_{K,1}} \right)^3 \cdot \frac{100}{\omega_{\text{эд}}}. \quad (3)$$

Величину $m_{K,1}$ для конкретного аппарата можно определить по уравнению, исходя из технологических параметров уваривания утфеля

$$m_{K,1} = M_{\text{апп}} \cdot \frac{L_{\text{апп}}}{100} \cdot \tilde{N}_{\text{апп}} \cdot \frac{\times_y - \times_{\text{и.д.}}}{100 - \times_{\text{и.д.}}} / 100,$$

где $M_{\text{апп}}$ – вместимость аппарата, кг; $L_{\text{апп}}$ – коэффициент, учитывающий заполнение аппарата утфелем, %; $\tilde{N}_{\text{апп}}$ – содержание сухих веществ в готовом утфеле, %; $\times_y$ – чистота утфеля, %; $\times_{\text{и.д.}}$ – чистота межкристалльного раствора, %.

В итоге

$$m_{\text{затравка}} = M_{\text{апп}} \cdot \frac{L_{\text{апп}}}{100} \cdot \tilde{N}_{\text{апп}} \cdot \frac{\times_y - \times_{\text{и.д.}}}{100 - \times_{\text{и.д.}}} / 100 \times \left(\frac{d_{K,0}}{d_{K,1}} \right)^3 \cdot \frac{100}{\omega_{\text{эд}}} \quad (4)$$

Размеры кристаллов в затравочных материалах $d_{K,0}$ и $d_{K,1}$ определяют с помощью компьютерно-оптического метода [2].

В современных технологиях наращивание кристаллов сахарозы осуществляют в несколько стадий: затравочная суспензия → холодный кристаллизат → маточный утфель → производственный утфель.

Дозирование затравочной суспензии. Затравочную суспензию получают путем мокрого измельчения кристаллов сахарозы ($m_{\text{сх}}$) с изопропиловым спиртом ($m_{\text{сп}}$).

Поэтому в уравнении (4) необходимо учитывать, что:

$$\omega_{\text{сд}} = \frac{m_{\text{сд}} \cdot 100}{m_{\text{сп}} + m_{\text{сд}}},$$

где $m_{\text{сх}}$ и $m_{\text{сп}}$ – массы соответственно спирта и сахарозы, требуемые для приготовления единицы объема затравочной суспензии, кг.

Массу изопропилового спирта $m_{\text{сп}}$ рассчитывали по уравнению

$$m_{\text{сп}} = V_{\text{сп}} \cdot \rho_{\text{сп}},$$

где $V_{\text{сп}}$ – объем изопропилового спирта, м³; $\rho_{\text{сп}}$ – плотность изопропилового спирта, кг/м³, при 20 °С $\rho_{\text{сп}} = 785,5$.

Затравочную суспензию со средним размером кристаллов $d_{\text{к},0} \approx 10$ используют для заводки кристаллов в холодном кристаллизате.

Расчет дозировки затравочной суспензии для получения холодного кристаллизата осуществляют по уравнению

$$m_{\text{с.н.}} = M_{\text{аи}} \cdot \frac{L_{\text{аи}}}{100} \cdot \tilde{N} \hat{A}_y \frac{\times_y - \times_{\text{i.д.}}}{100 - \times_{\text{i.д.}}} / 100 \times \left(\frac{d_{\text{к},0}}{d_{\text{к},1}} \right)^3 \cdot \frac{m_{\text{сп}} + m_{\text{сд}}}{m_{\text{сд}} \cdot 100}, \quad (5)$$

где $M_{\text{аи}}$ – принимают по паспортным данным аппарата холодного кристаллизата, $L_{\text{аи}}$, $d_{\text{к},1}$ – задают согласно технологическому регламенту завода, $d_{\text{к},1} \approx 10$ мкм.

Параметры готового холодного кристаллизата ($\tilde{N} \hat{A}_y, \times_y$) и его межкристального раствора ($\times_{\text{i.д.}}$) определяют в заводской лаборатории.

Дозирование холодного кристаллизата. Содержание кристаллов $\omega_{\text{кр.х.к.}}$, %, в холодном кристаллизате равно:

$$\omega_{\text{сд.д.д.}} = \tilde{N} \hat{A}_{\text{сд.д.д.}} \times \frac{\times_{\text{сд.д.д.}} \times_{\text{i.д.д.д.}}}{100 - \times_{\text{i.д.д.д.}}} \times 100,$$

где $\text{СВ}_{\text{х.к.}}$ – содержание сухих веществ в готовом холодном кристаллизате, %; $\text{Ч}_{\text{х.к.}}$ – чистота холодного кристаллизата, %; $\text{Ч}_{\text{м.р.х.к.}}$ – чистота

межкристального раствора холодного кристаллизата, %.

Масса холодного кристаллизата для заводки кристаллов в маточном утфеле выражается уравнением

$$m_{\text{с.д.}} = M_{\text{аи}} \cdot \frac{L_{\text{аи}}}{100} \cdot \tilde{N} \hat{A}_y \frac{\times_{\text{i.д.}} - \times_{\text{i.д.д.}}}{100 - \times_{\text{i.д.д.}}} / 100 \times \left(\frac{d_{\text{к},1}}{d_{\text{к},2}} \right)^3 \cdot \frac{100 - \times_{\text{i.д.д.д.}}}{\tilde{N} \hat{A}_{\text{с.д.}} \cdot (\times_{\text{с.д.}} - \times_{\text{i.д.д.д.}})} \cdot 100 \quad (6)$$

где $d_{\text{к},1}$ – средний размер в маточном утфеле, мкм, $d_{\text{к},2} \approx 300$ мкм.

Дозирование маточного утфеля. Масса маточного утфеля, необходимая для заводки кристаллов в производственном утфеле, рассчитывается по уравнению (6) при конечном размере кристаллов в производственном утфеле $d_{\text{к},3} \approx 800$ мкм.

Таким образом, расчет дозировки затравочной суспензии, холодного кристаллизата и маточного утфеля по уравнениям (5) и (6) позволяет вводить на стадии заводки кристаллов в современных технологиях кристаллизации сахарозы необходимое количество кристаллов заданного размера. Это дает возможность проводить процесс уваривания утфелей в оптимальном режиме, исключая растворение вводимых при заводке кристаллов и повторное кристаллообразование на стадии их наращивания; повысить выход кристаллического сахара-песка и снизить тепло- и энергозатраты в продуктовом отделении сахарного завода.

В технологии сахарного производства расчет продуктов проводится на 100 кг свеклы.

Определим массу затравочной суспензии, холодного кристаллизата, маточного утфеля, необходимых для получения производственного утфеля I кристаллизации.

Утфель I кристаллизации. Заводка кристаллов с помощью маточного утфеля и наращивание кристаллов проводится при коэффициенте пересыщения 1,10.

В утфеле I кристаллизации содержится кристаллов:

$28,60 \cdot 92,80 \cdot (93,75 - 84,20) / ((100 - 84,20) \times 100 \cdot (800 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1591,5) = 1,97 \cdot 10^7$ шт., где 28,60 – масса утфеля I кристаллизации, кг; 92,80 – массовая доля сухих веществ в утфеле I кристаллизации, %; 93,75 – чистота утфеля I кристаллизации, %; 84,20 – чистота I оттека утфеля I кристаллизации, %; $800 \cdot 10^{-6}$ – размер кристаллов в утфеле I кристаллизации, м; 1591,5 – плотность кристаллов сахарозы, кг/м³.

Маточный утфель I кристаллизации.

Исходные данные:

Массовая доля сухих маточного утфеля I кристаллизации, %	90,0
Содержание кристаллов в маточном утфеле I кристаллизации, %	40,0
Размер кристаллов в маточном утфеле I кристаллизации, мкм	300

Заводка кристаллов с помощью холодного кристаллизата и наращивание кристаллов проводится при коэффициенте пересыщения 1,08.

Масса маточного утфеля I кристаллизации:
 $1,97 \cdot 10^7 \cdot (300 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1591,5 \cdot 100/40,0 = 2,12$ кг.

В маточном утфеле I кристаллизации содержится:

сахарозы: $2,12 \cdot 90,0 \cdot 93,75/(100 \cdot 100) = 1,78$ кг,
 сухих веществ: $2,12 \cdot 90,0/100 = 1,90$ кг,
 несахаров: $1,90 - 1,79 = 0,12$ кг.

Массовая доля веществ в маточном утфеле I кристаллизации:

СВ = 90,0 %,

Ч = 93,75 %,

Сх = $90 \cdot 93,75/100 = 84,37$ %.

Холодный кристаллизат. Исходные данные:

Температура сиропа с клеровкой, °C	72
Коэффициент пересыщения, достигаемый выпариванием, ед.	0,95
Коэффициент пересыщения, достигаемый охлаждением, ед.	1,05
Конечная температура охлаждения, °C	30
Размер кристаллов в холодном кристаллизате, мкм	100

Технология получения холодного кристаллизата предусматривает сгущение сиропа с клеровкой до коэффициента пересыщения $\approx 0,95$ методом выпаривания при температуре 72 °C, предварительное охлаждение для создания пересыщения в растворе 1,05, заводку кристаллов (массой сахарозы с вносимыми кристаллами пренебрегаем) и основное охлаждение до 30 °C с получением готового холодного кристаллизата с размером кристаллов 100 мкм.

Растворимость сахарозы в сиропе с клеровкой при температуре 72 °C:
 $1,792 + 0,009 \cdot 72 + 0,00016 \cdot 72^2 = 3,27$ кг/кг воды.

Массовая доля сухих веществ в сиропе с клеровкой при коэффициенте пересыщения 0,95 составляет:

$$100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 3,27/(1,0 \cdot 0,95 \cdot 3,27 + 0,01 \cdot 93,88) = 76,79 \%,$$

где 1,0 – коэффициент насыщения, 93,88 – чистота холодного кристаллизата, %.

Температура после предварительного охлаждения до коэффициента пересыщения 1,05 равна 61,76 °C.

Масса воды в сиропе с клеровкой:

$$100 - 76,79 = 23,21 \text{ кг.}$$

Растворимость сахарозы в сиропе с клеровкой при температуре 30 °C:

$$1,792 + 0,009 \cdot 30 + 0,00016 \cdot 30^2 = 2,21 \text{ кг/кг воды.}$$

Масса выкристаллизовавшейся сахарозы из 100 кг сиропа с клеровкой:

$$(3,27 - 2,21) \cdot 23,21 = 24,68 \text{ кг.}$$

Масса холодного кристаллизата:

$$1,97 \cdot 10^7 \cdot (100 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1591,5 \cdot 100/24,68 = 0,127 \text{ кг.}$$

В холодном кристаллизате содержится:

сухих веществ: $0,127 \cdot 76,79 = 0,098$ кг,

сахарозы: $0,098 \cdot 93,88/100 = 0,092$ кг,

несахаров: $0,098 - 0,092 = 0,006$ кг.

Массовая доля веществ в холодном кристаллизате:

СВ = 76,79 %,

Ч = 93,88 %,

Сх = $76,79 \cdot 93,88/100 = 72,09$ %.

Масса сиропа с клеровкой для получения холодного кристаллизата:

$$0,127 \cdot 76,79/70,0 = 0,139 \text{ кг,}$$

где 70,0 – массовая доля сухих веществ в сиропе с клеровкой, %.

Масса сиропа с клеровкой для получения маточного утфеля I кристаллизации:

$$(2,12 \cdot 90,00/100 - 0,127 \cdot 76,79/100) \times 100/70,0 = 2,581 \text{ кг.}$$

Масса сиропа с клеровкой для получения производственного утфеля I кристаллизации:

$$(28,62 \cdot 92,80/100 - 2,12 \cdot 90,00/100) \times 100/70,0 = 37,941 \text{ кг.}$$

Затравочная суспензия. По уравнению (3) при $\omega_{\text{ед}} = 33$ % масса затравочной суспензии для заводки кристаллов в холодном кристаллизате равна

$$m_{\text{з.н.}} = 0,092 \cdot \left(\frac{10}{100} \right)^2 \cdot \frac{100}{33} = 2,79 \cdot 10^{-4}$$

Таким образом, полученные результаты могут служить в качестве исходных данных для расчета технологического оборудования при работе сахарных заводов разной производственной мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громковский, А.И. Оптимальный режим уваривания утфеля I продукта [Текст] / А.И. Громковский, Ю.И. Последова, Н.Н. Бражников // Сахар. – № 8. – 2008. – С. 54-56.
2. Сборник докладов IV межведомственной научно-практической конференции «Товароведение, экспертиза, технология и хранение продовольственных товаров». Часть 1 / под общ. ред. канд. юрид. наук, проф. Л. М. Лу-

ценко. – М. : ООО «Галлея-Принт», 2011.
– С. 151-154.