

УДК 637.23

В.В. Червецов, В.В. Кирсанов, М.Н. Гошанская, А.Г. Галстян, Е.Е. Илларионова**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ В СГУЩЕННЫХ МОЛОКОСОДЕРЖАЩИХ КОНСЕРВАХ С САХАРОМ**

Рассмотрены два варианта внесения затравочного материала при оптимальной температуре массовой кристаллизации лактозы. Оба варианта работоспособны и могут быть использованы на производстве при эксплуатации поточного охладителя-кристаллизатора. Установлено, что использование в технологической схеме поточного охладителя-кристаллизатора дискового обработника позволяет гарантированно равномерно распределить затравочный материал по всему объему продукта, при этом гидродинамическое воздействие на продукт интенсифицирует процесс кристаллообразования и способствует образованию кристаллов меньшего размера.

Поточная кристаллизация лактозы, сгущенный молокосодержащий продукт с сахаром, двухступенчатое охлаждение, пластинчатый скребковый охладитель-кристаллизатор, температура массовой кристаллизации, гранулометрический состав кристаллов лактозы.

Введение

Экспериментальные исследования подтвердили теоретические предпосылки возможности проведения поточной кристаллизации в аппарате, построенном на основе пластинчатого скребкового теплообменника. С целью разработки поточного метода кристаллизации лактозы проведены исследования процесса. Принципиальная схема модернизированной пилотной установки для поточной кристаллизации лактозы в сгущенных молокосодержащих продуктах представлена на рис. 1 [1].

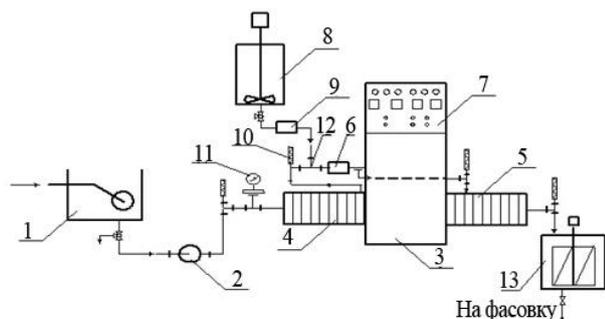


Рис. 1. Принципиальная схема модернизированной установки для поточного охлаждения сгущенных молокосодержащих продуктов с сахаром: 1 – приемный бак; 2 – насос подачи продукта; 3 – пластинчатый скребковый теплообменник; 4 – первая секция охлаждения; 5 – вторая секция охлаждения; 6 – дисковый обработник; 7 – щит управления; 8 – бачок для затравки; 9 – насос-дозатор; 10 – термометры сопротивления; 11 – манометр с разделительной мембраной; 12 – струйный смеситель; 13 – буферная емкость

Установка состоит из приемного бака 1, насоса объемного действия 2 для подачи продукта, снабженного частотным преобразователем, двухсекционного пластинчатого скребкового теплообменника 3 с дисковым обработником 6, снабженным частотным преобразователем, бачка для затравки 8 с рубашкой и пропеллерной мешалкой, насоса-дозатора 9, струйного смесителя 12, термометров сопротивления 10, манометров 11 с разделительной мембраной, щита управления 7 и буферной емкости 13 с мешалкой.

Установка работает следующим образом. После вакуум-выпаривания сгущенный лактозосодержащий

продукт с температурой 55–60°C поступает в приемный бак, откуда насосом подается в первую секцию пластинчатого скребкового охладителя, где охлаждается до температуры массовой кристаллизации лактозы. Далее продукт поступает в дисковый обработник, состоящий из набора подвижных и неподвижных дисков. Проходя в зазоре между ними, продукт подвергается интенсивному механическому воздействию. Перед подачей в дисковый обработник в поток продукта через струйный смеситель насосом-дозатором из бачка для приготовления затравки впрыскивается взвесь мелкокристаллической лактозы. В струйном смесителе происходит предварительное дробление впрыскиваемой жидкости проходящим через смеситель потоком продукта, и далее капельки взвеси с затравкой дробятся и поочередно вращиваются в продукт в дисковом обработнике, что обеспечивает гарантированно равномерное распределение затравки по всему объему. При этом, в виду того что привод дискового обработника снабжен частотным преобразователем, можно регулировать интенсивность механической обработки, оказывая таким образом влияние на конечный размер кристаллов.

После обработника продукт поступает в выдерживатель и затем во вторую секцию охладителя, где охлаждается до конечной температуры (18±20) °С, и перед подачей на фасовку вымешивается в буферной емкости. Полученные в ходе экспериментов образцы продуктов укупоривали в жестяные банки массой 400г и хранили в течение 120 суток при температуре (6±10) °С. Размеры кристаллов лактозы исследовали в свежеприготовленном продукте через 48 часов хранения и далее с периодичностью 15 дней.

В задачу исследований входило:

- экспериментальное подтверждение теоретических предпосылок о возможности проведения непрерывного процесса кристаллизации лактозы в сгущенном молокосодержащем продукте с сахаром;
- изучение эффективности комбинированного внесения затравки;
- определение влияния интенсивности гидродинамического воздействия на гранулометрический состав полученных кристаллов лактозы;

–анализ возможности использования готового продукта в качестве затравочного материала при поточном способе кристаллизации.

В соответствии с задачами проведены эксперименты, которые можно разделить на две основные группы. К первой группе относились опыты с использованием в качестве затравки взвеси пудры лактозы в растительном жире (комбинированная затравка), ко второй – опыты с использованием в качестве затравки готового продукта, прошедшего кристаллизацию.

Рассмотрим основные результаты проведенных опытов. В первую группу входило два нижеприведенных варианта.

Первый вариант. Затравка в виде взвеси пудры лактозы в растительном масле в количестве 0,12% от массы продукта насосом-дозатором 9 из бачка 8 непрерывно подается в поток продукта через специальный струйный смеситель 12 после первой секции охладителя-кристаллизатора (рис.1) при температуре массовой кристаллизации лактозы. Затем продукт поступает в дисковый обработник, где подвергается интенсивному гидродинамическому воздействию ($n=1000$ об/мин), в результате которого внесенная затравка и жир гарантированно равномерно распределяются по всему объему продукта, при этом жир мелко диспергируется. Обработанный таким образом продукт поступает в выдерживатель, в качестве которого используется отрезок трубы диаметром 50мм, соединяющий обработник со второй секцией. Время пребывания продукта в выдерживателе составляет 4 спри установленной производительности охладителя-кристаллизатора в 300 кг/час.

Во второй секции происходит охлаждение продукта до температуры 20°C, предусмотренной технологическим регламентом.

Температура внесения заравки варьировалась от 30до 35°C через один градус. Отбор проб осуществлялся после второй секции охлаждения. Исследования гранулометрического состава кристаллов лактозы в образцах проб проводились по известной методике.

Кристаллизация по этому методу показала хорошие результаты. Содержание кристаллов лактозы в сгущенном молокосодержащем продукте с сахаром превышало 1400 тыс./мм³ со средним размером их (4,5÷5,0) мкм.

На рис. 2 представлена зависимость массовости кристаллизации лактозы в исследуемом продукте от температуры внесения затравки. Из графика отчетливо видно, что количество образовавшихся кристаллов зависит от температуры массовой кристаллизации и достигает своего максимума в 1400 тыс./мм³ при температуре 34°C.

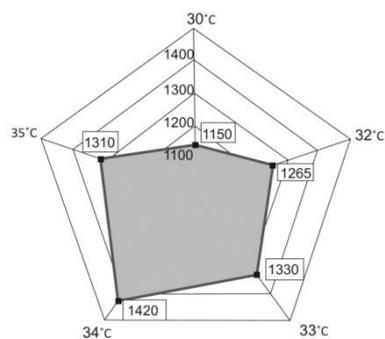


Рис. 2. Зависимость массовости кристаллизации лактозы от температуры внесения затравки

Второй вариант. Для определения влияния интенсивности гидродинамического воздействия на гранулометрический состав кристаллов лактозы была проведена серия опытов при различной частоте вращения рабочих органов дискового обработника. Сгущенный молокосодержащий продукт с сахаром при температуре 55 °C подавался в первую секцию поточного охладителя-кристаллизатора, где охлаждался до 34 °C. При этой температуре в продукт вносили комбинированную затравку. После внесения затравки продукт подвергался интенсивному механическому воздействию в дисковом обработнике, частота вращения рабочих органов которого изменялась в каждой серии опытов и составляла 200об/мин, 600об/мин, 1000об/мин. Далее продукт направлялся через выдерживатель во вторую секцию поточного охладителя-кристаллизатора, где охлаждался до температуры 20°C.

Для подтверждения эффективности предлагаемого способа дополнительно было проведено охлаждение продукта традиционным способом. При этом температура продукта снижалась от 65до 20°C в течение 40 мин[2]. В пробах определялся линейный размер 100 кристаллов лактозы, затем рассчитывалась их средняя величина (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики гранулометрического состава кристаллов лактозы

| Показатели | Традиционный способ | Поточный способ | | | | | |
|--|---------------------|------------------------------|------|------|--------------------------------|------|------|
| | | После обработника-при об/мин | | | После второй секции при об/мин | | |
| | | 200 | 600 | 1000 | 200 | 600 | 1000 |
| Средний размер кристаллов лактозы, мкм | 6,35 | 7,72 | 6,26 | 5,03 | 5,84 | 4,83 | 4,18 |
| Коэффициент однородности | 0,65 | 0,63 | 0,71 | 0,76 | 0,83 | 0,87 | 0,91 |

По интегральным кривым (рис.3) выполнено определение коэффициента однородности.

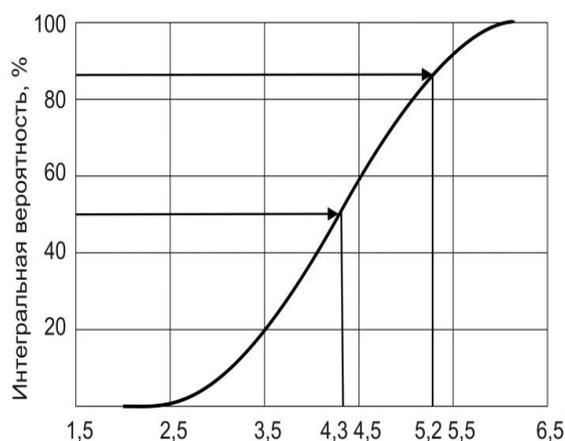


Рис. 3. Интегральная вероятность распределения кристаллов лактозы

По данным табл. 1 построена зависимость среднего диаметра кристаллов лактозы от частоты вращения рабочих органов дискового обработника, представленная на рис. 4. На графике просматривается очевидная зависимость среднего диаметра кристаллов лактозы от частоты вращения рабочих органов, причем с увеличением частоты вращения наблюдается уменьшение диаметра кристаллов лактозы на выходе из аппарата в среднем на 30%, что выступает значительным фактором для повышения качества готового продукта и его хранимоспособности. Во второй группе опытов ставилась задача организации непрерывного процесса кристаллизации лактозы в сгущенном молокосодержащем продукте с сахаром без использования пудры лактозы. В качестве затравки использовался готовый продукт, прошедший кристаллизацию. Такой вариант предусмотрен Типовой технологической инструкцией ТИИ ГОСТР 53436-001.

При кристаллизации традиционным способом (периодическим) допускается замена пудры лактозы на готовый продукт прошлых выработок с хорошими органолептическими показателями в количестве 1,5–2,0% от массы обрабатываемого продукта.

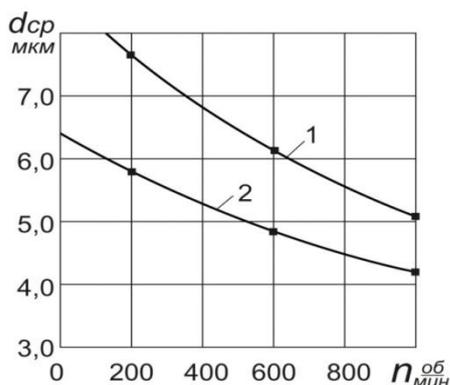


Рис. 4. Зависимость величины среднего диаметра кристаллов лактозы от частоты вращения рабочих органов дискового обработника: 1 – после обработника, 2 – после второй секции

Конструкция разработанной пилотной установки позволяет осуществлять такую замену. В этом случае в бачке готовится небольшое количество комбинированной затравки, необходимое только для запуска установки, далее после выработки приготовленной затравки в этот бачок по специальному трубопроводу непрерывно подается часть (1,5÷2,0)% полученного продукта, который насосом-дозатором впрыскивается в поток через специальный смеситель. Затем продукт поступает в дисковый обработник, где происходит гарантированное смешивание и значительное гидродинамическое на него воздействие, обеспечивающее интенсификацию образования центров кристаллизации и рост кристаллов. После прохождения выдерживателя продукт охлаждается до конечной, предусмотренной регламентом температуры во второй секции пластинчатого скребкового теплообменника, используемого в качестве охладителя кристаллизатора лактозы. Необходимо отметить, что в качестве затравочного материала на период запуска установки может быть использован готовый продукт предыдущих выработок с хорошей бархатистой консистенцией. Такой подход обеспечивает исключение из технологического регламента пудры лактозы, что является большим достоинством данного способа организации процесса кристаллизации.

Для экспериментального подтверждения возможности поточной кристаллизации лактозы при использовании в качестве затравки части готового продукта, а также для отработки технологических режимов были проведены эксперименты второй группы опытов, в которых предусматривается использование готового продукта в качестве затравочного материала, рециркулирующего по специальному трубопроводу в бачок для затравки и далее насосом-дозатором впрыскиваемого в поток охлажденного до температуры массовой кристаллизации лактозы обрабатываемого продукта. Опыты с рециркуляцией готового продукта показали хорошие результаты: все обработанные образцы имели свыше 1 млн кристаллов лактозы в 1 мм³ готового продукта, при этом средний размер кристаллов составлял 4–5 мкм, что обеспечивало однородную бархатистую консистенцию. Следует отметить очень хорошее распределение кристаллов по размерам: в первую группу (до 10 мкм) вошло 98–99% кристаллов при коэффициенте однородности кристаллизации, равном 0,87–0,92. Для сравнения были проведены опыты с тем же продуктом при традиционном (периодическом) способе кристаллизации лактозы.

Опыты с поточной кристаллизацией проводились при различных температурах внесения затравочного материала (30–35°C). Отбор проб осуществлялся из четырех пробоотборников одновременно: I – отборник проб расположен после струйного смесителя перед входом в дисковый обработник; II – отборник проб расположен перед выдерживателем; III – отборник проб перед второй секцией; IV – пробоотборник готового продукта на выходе из аппарата.

На рис. 5 представлены кривые кинетики поточного процесса кристаллизации лактозы при различных температурах внесения затравочного материала. Общее время пребывания продукта в аппарате со-

ставляет 30 с, которые складываются из следующих составных частей: 8 с – прохождение первой секции; 2 с – дисковый обработчик; 4 с – выдерживатель; 16 с – вторая секция охладителя-кристаллизатора.

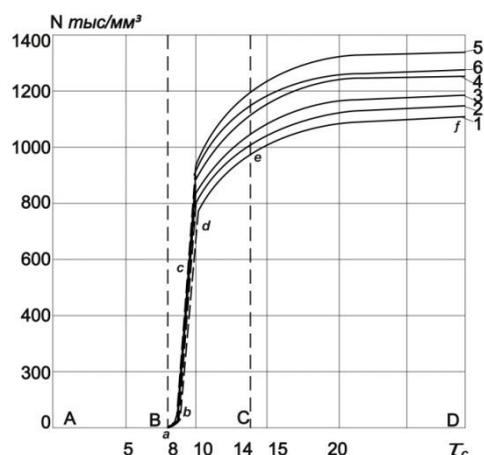


Рис. 5. Кривые кинетики кристаллизации лактозы при температуре внесения затравки: 1–30 °С; 2–31 °С; 3–32 °С; 4–33 °С; 5–34 °С; 6–35 °С

При впрыскивании затравочного материала в поток продукта и при последующей его обработке в дисковом обработчике (2 с) происходит бурное зарождение центров кристаллизации лактозы (от 0 до 600–700 тыс/мм³). После выдерживателя количество кристаллов возрастает до (1000±1 200) тыс/мм³, и на выходе из аппарата оно достигает 1300 тыс/мм³. Одновременно растет средний диаметр кристаллов с 3,7 мкм в начале процесса до 5,4 мкм на выходе из аппарата.

Процесс кристаллизации лактозы при обработке продукта в поточном охладителе-кристаллизаторе начинается в точке В, соответствующей точке ввода в поток продукта затравочного материала. Участок кривых «ab» соответствует инкубационному периоду кристаллизации лактозы, затем на участке «bc» при обработке в дисковом обработчике происходит интенсивная кристаллизация лактозы (пунктирная прямая с небольшим отклонением от вертикали). Участок «cd» обозначает окончание обработки в дисковом обработчике и характеризуется дальнейшим интенсивным ростом количества кристаллов лактозы и разветвлением на кривые, соответствующие различным температурам внесения затравки. Участок «de» соответствует прохождению продуктом выдерживателя и характеризуется дальнейшим увеличением количества кристаллов лактозы. Участок «ef» соответствует охлаждению продукта во второй секции кристаллизатора с температуры внесения затравки до конечной, предусмотренной регламентом; характеризуется снижением темпов роста количества кристаллов, кривые на этом участке стремятся к своему максимуму, что соответствует окончанию процесса кристаллизации при данном перенасыщении.

График на рис.5 свидетельствует также о том, что оптимальной температурой для внесения затравоч-

ного материала является 34°С, при которой получена максимальная массовость кристаллизации.

На рис. 6 представлена гистограмма процентного распределения кристаллов лактозы по группам в зависимости от их размеров.

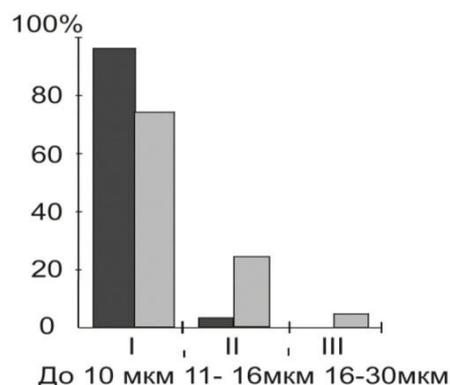


Рис.6. Гистограмма процентного распределения кристаллов лактозы

Из графика видно, что при поточном способе кристаллизации лактозы в сгущенном молокосодержащем продукте с сахаром основная масса кристаллов (98%) относится к первой группе (до 10 мкм), при этом отсутствуют кристаллы лактозы третьей группы (от 16 до 30 мкм). Обработка контрольного образца традиционным способом позволила получить количество кристаллов: первой группы – 75 %; второй группы – 22%; третьей группы – 3%, что, очевидно, является худшим показателем.

Общие выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований поточной кристаллизации сгущенного молокосодержащего продукта с сахаром, выполненных на пилотной установке поточного охладителя-кристаллизатора, можно сделать следующие выводы:

- экспериментальные исследования подтвердили теоретические предпосылки возможности проведения поточной кристаллизации в аппарате, построенного на основе пластинчатого скребкового теплообменника;

- рассмотрены два варианта внесения затравочного материала при оптимальной температуре массовой кристаллизации лактозы; оба варианта работоспособны и могут быть использованы на производстве при эксплуатации поточного охладителя-кристаллизатора;

- установлено, что использование в технологической схеме поточного охладителя-кристаллизатора дискового обработчика позволяет гарантированно равномерно распределить затравочный материал по всему объему продукта, при этом гидродинамическое воздействие на продукт интенсифицирует процесс кристаллообразования и способствует появлению кристаллов меньшего размера.

Список литературы

1. Червецов, В.В. Перспективные технологические решения кристаллизации лактозы из насыщенных растворов / В.В.Червецов, С.Ю.Сергеев, А.Г.Галстян и др. // Научное обеспечение молочной промышленности (ВНИМИ – 80 лет): сборник научных трудов. – М.: ГНУ ВНИМИ, 2009. – С.424–428.
2. Гнездилова, А.И. Развитие научных основ кристаллизации лактозы и сахарозы в многокомпонентных водных растворах: автореф. дисс. д-ра техн. наук / А.И. Гнездилова – М., 2000. – 46 с.
3. Гоцанская, М.Н. Развитие научных основ консервирования продуктов с промежуточной влажностью на молочной основе / М.Н. Гоцанская, Е.А. Фетисов, В.В. Червецов, А.Г. Галстян // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1. – С. 19.
4. Тимощук, И.В. К вопросу подготовки воды для пищевой промышленности / И.В. Тимощук // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 3. – С. 111.

ГНУ ВНИМИ Россельхозакадемии,
115093, Россия, г. Москва, ул.Люсиновская,35.
Тел./факс:(495)236-02-36
e-mail:conservlab@mail.ru

SUMMARY

V.V. Chervetsov, V.V. Kirsanov, M.N.Goshchanskaya, A.G. Galstyan, E.E. Illarionova

**INVESTIGATION ON THE CONTINUOUS PROCESS OF LACTOSE CRYSTALLIZATION
IN CONDENSED MILK-CONTAINING SWEETENED CANNED FOODS**

Two variants of applying the seed material at the optimum temperature of mass crystallization of lactose have been considered both being efficient and can be used in the operation of stream cooler-crystallizer. It has been determined that the use of stream cooler-crystallizer of disk-treatment in the technological scheme allows to evenly distribute the seed material throughout the volume of the product, while the hydrodynamic effect on the product intensifies the process of crystal formation and promotes the formation of crystals of smaller size.

Stream crystallization of lactose, condensed milk-containing sweetened canned foods, two-stage cooling, plate scraper cooler-crystallizer, the temperature of mass crystallization, granulometric composition of lactose crystals.

All-Russia dairy research institute(VNIMI),
35, Lusinovskaya street, Moscow, 115093, Russia
Phone/Fax:+7(495)236-02-36
e-mail: conservlab@mail.ru

