

**В.В. Кирсанов, А.Е. Кузнецова, В.В. Червецов, А.Г. Галстян**

## **НЕПРЕРЫВНЫЙ ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ В МОЛОЧНЫХ КОНСЕРВАХ С САХАРОМ – ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ**

В статье рассмотрены перспективные варианты внесения затравочного материала для обеспечения однородной кристаллизации лактозы. Установлены новые закономерности влияния гидродинамических сил на распределение затравочного материала по всему объему продукта и процесса кристаллообразования при использовании поточного охладителя-кристаллизатора с дисковым обработчиком.

Поточная кристаллизация лактозы, пластинчатый скребковый охладитель-кристаллизатор, температура массовой кристаллизации.

### **Введение**

В последние годы сохраняется тенденция повышения объемов производства сгущенных молочных консервов с сахаром. Этому способствует ряд факторов: современные технологии, позволяющие расширить ассортимент продукции на ранее неспециализированных для производства молочных консервов предприятиях, высокая рентабельность производства, а также возможность направленного формирования физико-химических и органолептических свойств продукции, что, в свою очередь, предполагает возможность удовлетворять ее потребности в различных отраслях пищевой промышленности.

Одним из системообразующих технологических процессов в производстве молочных сгущенных продуктов с сахаром является кристаллизация лактозы [1, 2, 4, 5]. В настоящее время на молочно-консервных комбинатах в большей части используется периодический способ кристаллизации. При этом разработка промышленного поточного способа кристаллизации позволила бы сократить время процесса и существенно уменьшить использование производственных площадей. Соответственно, целесообразно исследовать процесс непрерывной кристаллизации для последующей разработки технологического оборудования [2, 3].

В данной статье была предпринята попытка исследования и разработки поточного метода кристаллизации лактозы на разработанной пилотной установке.

### **Объекты и методы исследований**

Исследования проводятся в рамках гранта Президента РФ (конкурс МД-1461-2011.4).

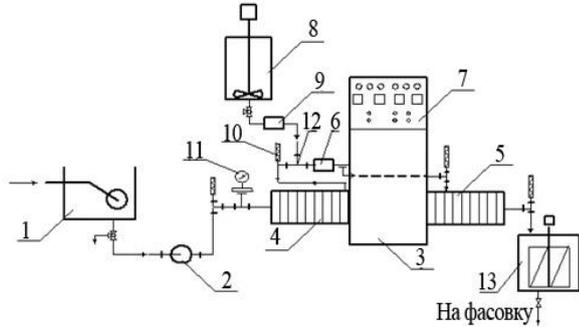
Технологическая схема модернизированной пилотной установки для поточной кристаллизации лактозы в консервированных молочных продуктах представлена на рис. 1.

Рис. 1. Технологическая схема модернизированной установки для поточного охлаждения сгущенного молока с сахаром: 1 – приемный бак; 2 – насос подачи продукта; 3 – пластинчатый скребковый теплообменник; 4 – I секция охлаждения; 5 – II секция охлаждения; 6 – дисковый обра-

ботчик; 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 марки IG5-Rus (фирма LG) класс 230В, двухсекционного пластинчатого скребкового теплообменника 3 с дисковым обработчиком 6, снабженным частотным преобразователем марки IG5-Rus (фирма LG) класс 230В, 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.

Принцип работы установки следующий. После вакуум-выпаривания сгущенный лактозосодержащий продукт с температурой 55–60 °С, обеспечивающей гарантированное растворение лактозы, 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 обработчик, состоящий из набора подвижных и неподвижных дисков; проходя в зазоре между ними, продукт подвергается интенсивному гидродинамическому воздействию. Перед подачей в дисковый обработчик 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, далее капельки взвеси с затравкой дробятся и равномерно втираются в продукт в дисковом обработчике, что обеспечивает гарантированно равномерное распределение затравки по всему объему. Ввиду того что привод дискового обработчика снабжен частотным преобразователем, можно менять интенсивность механической обработки, оказывая таким образом влияние на размер кристаллов.



После обработчика продукт поступает в выдерживатель, 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 400 г и хранили в течение 120 суток при температуре  $6 \pm 10$  °С. Размеры кристаллов лактозы исследовали в свежеприготовленном продукте, через 48 ч хранения и далее с периодичностью 15 дней.

В задачу исследований входило:

- экспериментально подтвердить теоретические предпосылки о возможности проведения непрерывного процесса кристаллизации лактозы в сгущенном молочном продукте с сахаром (аналог сгущенного цельного молока с сахаром);
- исследовать эффективность комбинированного внесения затравки;
- исследовать влияние интенсивности гидродинамического воздействия на гранулометрический состав полученных кристаллов лактозы;
- исследовать возможность использования готового продукта в качестве затравочного материала при поточном способе кристаллизации.

### Результаты и их обсуждение

Было проведено несколько экспериментов, которые можно разделить на две 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 входили два 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 (см. рис. 1) при температуре массовой кристаллизации лактозы. Затем продукт поступает в дисковый обработчик, 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 50 мм, соединяющий обработчик со второй секцией. Время пребывания продукта в выдерживателе составляет 4 с при установленной производительности охладителя-кристаллизатора 300 кг/ч.

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

Температура внесения затравки варьировалась от 30 до 35 °С 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 молочном продукте с сахаром доходило до 1420 тыс./мм<sup>3</sup> со средним размером их  $4,5 \div 5,0$  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 1420 тыс./мм<sup>3</sup> при температуре 34 °С.

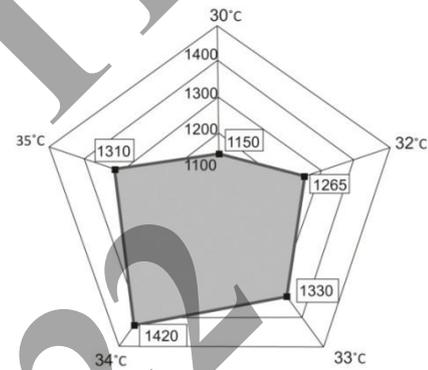


Рис. 2. Зависимость массовости кристаллизации лактозы от температуры внесения затравки

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

Для подтверждения эффективности предлагаемого способа дополнительно было проведено охлаждение продукта традиционным способом. При этом температура продукта снижалась от 55 до 20 °С в течение 40 минут. В пробах определялся линейный размер 100 кристаллов лактозы, затем рассчитывалась их средняя величина (табл. 1).

Характеристики гранулометрического состава кристаллов лактозы

Показатель	Традиционный	Поточный способ					
		После обработчика, 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.

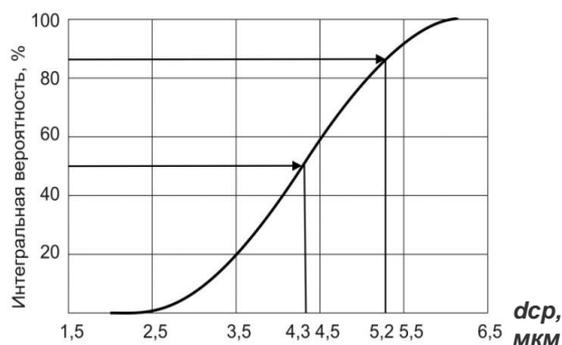


Рис. 3. Интегральная вероятность распределения кристаллов лактозы

По данным табл. 1 построена зависимость среднего диаметра кристаллов лактозы от частоты вращения рабочих органов дискового обработчика, 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 представляется значительным фактором для повышения качества готового продукта и его хранимоспособности.

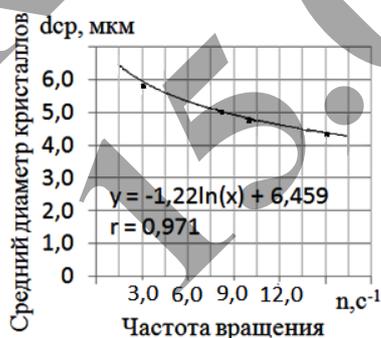


Рис. 4. Зависимость величины среднего диаметра кристаллов лактозы от частоты вращения рабочих органов дискового обработчика

Во второй группе опытов ставилась задача организации непрерывного процесса кристаллизации лактозы в сгущенном молочном продукте с сахаром

без использования пудры лактозы. В качестве затравки использовался готовый продукт, прошедший кристаллизацию. Такой вариант предусмотрен типовой технологической инструкцией ТПИ ГОСТ Р 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.

Конструкция разработанной пилотной установки позволяет осуществлять такую замену. В этом случае в бачке для приготовления комбинированной затравки готовится ее небольшое количество, необходимое только для запуска установки, далее после выработки приготовленной затравки в этот бачок по специальному трубопроводу непрерывно подается часть (1,5÷2,0 %) готового продукта, который насосом-дозатором впрыскивается в поток продукта через специальный смеситель. Далее продукт поступает в дисковый обработчик, где происходит гарантированное смешивание и значительное гидродинамическое 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 впрыскивающегося в поток охлажденного до температуры массовой кристаллизации лактозы обрабатываемого продукта. Опыты с рециркуляцией готового продукта показали хорошие результаты: все обработанные образцы имели свыше

1 миллиона кристаллов лактозы в  $1 \text{ мм}^3$  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 °С). 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 составляет 30 с, которые складываются из следующих составных частей: 8 с – прохождение первой секции; 2 с – дисковый обработник; 4 с – выдерживатель; 16 с – вторая секция охладителя-кристаллизатора.

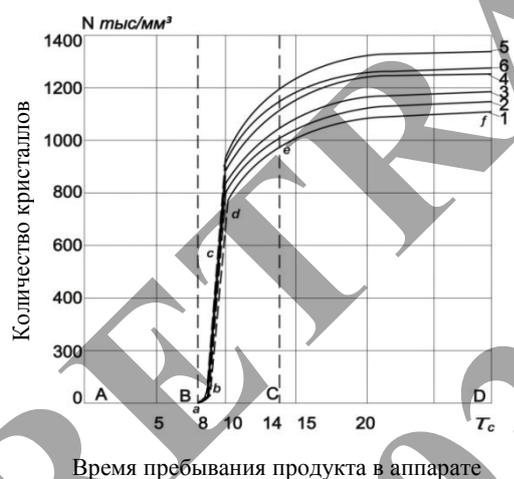


Рис. 5. Кривые кинетики кристаллизации лактозы при температуре внесения затравки: 1 – 30 °С; 2 – 31 °С; 3 – 32 °С; 4 – 33 °С; 5 – 34 °С; 6 – 35 °С

При впрыскивании затравочного материала в поток продукта и при последующей его обработке в дисковом обработнике (2 с) происходит бурное зарождение центров кристаллизации лактозы (от 0 до 600–700 тыс/мм<sup>3</sup>), после выдерживателя количество кристаллов возрастает до 1000–1200 тыс/мм<sup>3</sup>, на выходе из аппарата оно достигает 1300 тыс/мм<sup>3</sup>. 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 АВ соответствует инкубационному периоду

кристаллизации лактозы, затем на участке ВС при обработке в дисковом обработнике происходит интенсивная кристаллизация лактозы (пунктирная прямая с небольшим отклонением от вертикали). Участок CD обозначает окончание обработки в дисковом обработнике 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 пересыщении.

График на рис. 5 свидетельствует также о том, что оптимальной температурой для внесения затравочного материала является 34 °С, при которой получена максимальная массовость кристаллизации.

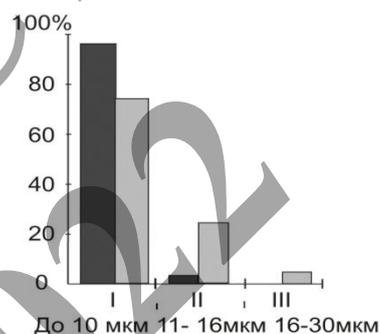


Рис. 6. Гистограмма процентного распределения кристаллов лактозы

На рис. 6 представлена гистограмма процентного распределения кристаллов лактозы по группам в зависимости от их размеров. Из графика видно, что при поточном способе кристаллизации лактозы в густом молочном 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.

Таким образом, на основании проведенных исследований поточной кристаллизации густого молочного 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, выполненном на основе пластинчатого скребкового теплообменника;

- рассмотрены два варианта внесения затравочного материала при оптимальной температуре массовой кристаллизации лактозы, которая определя-

лась с помощью графика Гудзона; 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 образованию кристаллов меньшего размера.

#### Список литературы

1. Гнездилова, А.И. Развитие научных основ кристаллизации лактозы и сахарозы в многокомпонентных водных растворах: дис. ... докт. техн. наук. – Вологда, 2000. – 345 с.
2. Голубева, Л.В. Научные и практические основы повышения хранимоспособности молочных консервов: дис. ... докт. техн. наук. – Воронеж, 2002. – 318 с.
3. Евдокимов, И.А. Сравнительный анализ показателей качества молочного сахара // Молочная пром-сть. – 1999. – № 5. – С. 32–34.
4. Радаева, И.А. Технология молочных консервов и заменителей цельного молока: справочник / И.А. Радаева и др. – М.: Агропромиздат, 1986. – 352 с.
5. Чекулаева, Л.В. Сгущенные молочные консервы / Л.В. Чекулаева и др. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 263 с.

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

#### SUMMARY

V.V. Kirsanov, A.E. Kuznetsova, V.V. Chervetsov, A.G. Galstyan

#### CONTINUOUS PROCESS OF LACTOSE CRYSTALLIZATION IN CANNED MILK WITH SUGAR – PERSPECTIVES OF USING IN PRODUCTION

This article considers two ways of introduction the seed material for provide in the flow homogeneous crystallization of lactose. The influence of hydrodynamic forces for distribution of seed material throughout volume of product, the process of crystallization and the size of crystals was investigated by using of streaming cooling-crystallizer.

Stream crystallization of lactose, scraper plate cooler-crystallizer, temperature of mass crystallization.

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