2019 Т. 49 № 4 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-563-570
Оригинальная статья
УДК 637.1
http://fptt.ru/

Вальцовая сушилка для молока в малотоннажных условиях

М. Е. Белецкая*, А. А. Владимиров, О. В. Козлова, И. С. Милентьева

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

Дата поступления в редакцию: 21.10.2019
Дата принятия в печать: 29.11.2019

**e-mail: Beletskaya.ME@yandex.ru*

© М. Е. Белецкая, А. А. Владимиров, О. В. Козлова, И. С. Милентьева, 2019

Аннотация.
Введение. На сегодняшний день рынок молочных продуктов активно развивается и является одним из крупнейших продовольственных рынков. Однако для данной отрасли свойственны такие проблемы, как сезонность производства и малая транспортабельность сырья из-за его коротких сроков хранения. Глубокая переработка молочного сырья и получение на его основе сухих порошков является наиболее эффективным способом решения данных проблем. Целью данной работы является разработка малотоннажной сушилки для получения сухого молока в условиях фермерских хозяйств и подбор оптимальной температуры сушки.
Объекты и методы исследования. Объектом исследования стало молоко цельное отборное «Своя ферма» с массовой долей жира от 3,4 % до 4,5 %. Исследования проводились на базе Кемеровского государственного университета в городе Кемерово. Сушка молока проводилась на пилотном образце разработанной вальцовой сушилки. Конструкция сушилки состоит из корпуса, греющих барабанов, платы управления на микроконтроллере, к которому подключен датчик температуры и схема управления силовой частью, силовая часть с мощным выпрямителем и импульсным регулятором.
Результаты и их обсуждение. Установлено, что температура сушки свыше 98 °С приводит к ухудшению характеристик сухого молока, молоко не соответствует параметрам ГОСТ. Оптимальная температура сушки 92–95 °С, так как при данной температуре все характеристики, за исключением индекса растворимости, соответствуют параметрам ГОСТа. Органолептические и физические показатели сухого молока улучшаются при сокращении времени сушки и расстояния между ножом и барабаном.
Выводы. Дальнейшая работа будет заключаться в подборе оптимальной скорости вращения барабанов и расстоянии между ножом и барабаном.

Ключевые слова. Молоко, сухие продукты, сушка, фермерские хозяйства

Для цитирования: Вальцовая сушилка для молока в малотоннажных условиях / М. Е. Белецкая, А. А. Владимиров, О. В. Козлова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 563–570. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-563-570.

Original article
Available online at http://fptt.ru/eng

Roller Dryer for Drying Milk in Low-Tonnage Conditions

M.E. Beletskaya*, A.A. Vladimirov, O.V. Kozlova, I.S. Milentyeva

Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

Received: October 21, 2019
Accepted: November 29, 2019

**e-mail: Beletskaya.ME@yandex.ru*

© M.E. Beletskaya, A.A. Vladimirov, O.V. Kozlova, I.S. Milentyeva, 2019

Abstract.
Introduction. Milk has a high nutritional value and is a vital component of human diet. Today, the dairy market is one of the largest and actively developing food markets. However, this industry is characterized by such problems as seasonality and poor transportability of raw materials. These problems particularly affect small farms. Deep processing of dairy raw materials to obtain dry powders is the most effective way to solve these problems. The research objective was to develop a low-tonnage dryer for producing milk powder on small farms and to select the optimal drying temperature.
Study objects and methods. The research featured whole milk of the 'Svoya Ferma' brand, mass fraction of fat = 3.4–4.5%. The research was performed on the premises of Kemerovo State University (Kemerovo, Russia). The milk was dried on a pilot sample

of the roller dryer developed by the research team. The dryer consisted of a vessel, heating drums, and a microcontroller, which was connected to the temperature sensor and the control circuit of the power part, which had a powerful rectifier and pulse regulator.
Results and discussion. When the drying temperature exceeded 98°C, the characteristics of the milk powder deteriorated, and the milk failed to meet the State Standard. The optimal drying temperature was 92–95°C, since at this temperature all the characteristics, except for the solubility index, corresponded to the State Standard. The sensory and physical properties of the milk powder were improved by reducing the drying time and the distance between the knife and the drum.
Conclusion. Further experiments have to be performed to determine the optimal rotation speed of the drums and the distance between the knife and the drum.

Keywords. Milk, dried products, drying, farms

For citation: Beletskaya ME, Vladimirov AA, Kozlova OV, Milentyeva IS. Roller Dryer for Drying Milk in Low-Tonnage Conditions. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(4):563–570. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-563-570.

Введение

Молоко представляет собой многокомпонентную питательную жидкость, состав которой насыщен макро- и микроэлементами, витаминами, ферментами, а также белками, содержащими все незаменимые аминокислоты. Поэтому молоко имеет высокую пищевую ценность и является жизненно важным звеном в рационе каждого человека [1, 2].

На сегодняшний день рынок молочных продуктов активно развивается и является одним из крупнейших продовольственных рынков. Однако для данной промышленности свойственна сезонность производства: зимой надои молока меньше, а спрос на молочную продукцию выше. В летний период – наоборот. Также ещё одной существенной проблемой молочной индустрии, с которой сталкиваются фермерские хозяйства, имеющие удалённое нахождение от рынков сбыта, является малая транспортабельность сырья из-за его короткого срока хранения [3, 4].

Решить данные проблемы можно благодаря глубокой переработке молочного сырья до сухих порошкообразных продуктов. Сухое молоко является концентратом обычного коровьего молока и представляет собой мелкий порошок или порошок, который состоит из единичных и агломерированных частиц. Правильно приготовленное сухое молоко сохраняет почти все полезные свойства и вкусовые качества молочного продукта. При этом сухой концентрат обладает увеличенным сроком хранения и большей компактностью при транспортировке [5–8].

В современной пищевой и молочной промышленности для получения порошкообразных концентратов используют сублимационные, распылительные, а также вальцовые сушилки. Их характеристики представлены в таблице 1 [8–11].

Проанализировав литературные данные, мы пришли к выводу, что наиболее подходящей для использования в малотоннажных условиях фермерских хозяйств является вальцовая сушилка, так как она легко масштабируется, менее энергозатратная и менее дорогостоящая в сравнении с распылительной и сублимационной сушилками. Помимо этого вальцовые сушилки легки и удобны в чистке и техническом обслуживании.

Целью данной работы является разработка малотоннажной сушилки для получения сухого молока в условиях фермерских хозяйств и подбор оптимальной температуры сушки.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования стало молоко цельное отборное «Своя ферма» с массовой долей жира от 3,4 % до 4,5 %.

Исследования проводились на базе Кемеровского государственного университета в городе Кемерово. Сушка молока проводилась на пилотном образце

Таблица 1. Характеристика сушилок

Table 1. Characteristics of dryers

Вид сушки	Распылительная	Сублимационная	Вальцовая
Процесс	удаление влаги осуществляется за счёт передачи тепла высушиваемому материалу от нагретого воздуха или пара	влага удаляется путем сублимации кристаллов льда из замороженного материала в условиях вакуума	испарение влаги путем прямой передачи тепла от горячего вращающегося барабана в тонкий слой выпариваемого продукта
Достоинства	высокая скорость сушки и большая производительность	высокое качество готового продукта	малые энергозатраты и экономичность, небольшие габариты
Недостатки	дороговизна и большие габариты конструкции, высокие затраты электрической и тепловой энергии	дороговизна оборудования, длительный процесс сушки, большие габариты конструкции	непосредственный контакт продукта с греющей поверхностью, длительный процесс сушки

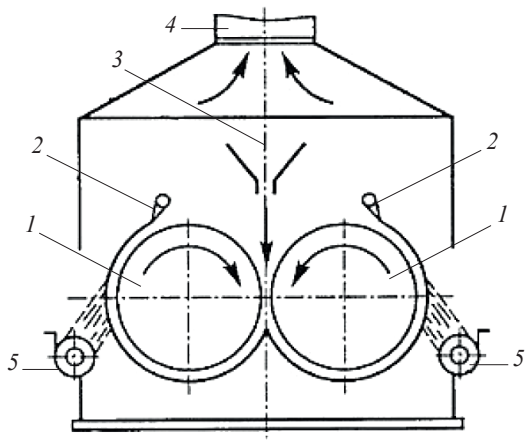


Рисунок 1. Схема двухвальцовой барабанной сушилки:
1 – нагреваемые барабаны; 2 – ножи; 3 – питательный зазор; 4 – вытяжной канал; 5 – приёмный бункер

Figure 1. Diagram of a two-roll drum dryer:
1 – heated drums; 2 – knives; 3 – feed nip; 4 – extraction duct; 5 – feed hopper

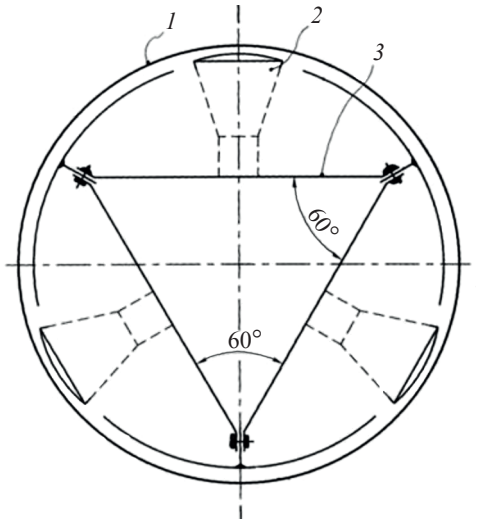


Рисунок 2. Цилиндрический корпус вальцов:
1 – стенка корпуса; 2 – инфракрасные нагреватели; 3 – трёхгранная ось

Figure 2. Cylindrical body of the rollers:
1 – wall of the housing; 2 – IR heaters; 3 – trihedral axis

разработанной вальцовой сушилки. Конструкция сушилки, представленная на рисунке 1, состоит из корпуса, греющих барабанов, платы управления на микроконтроллере, к которому подключен датчик температуры и схема управления силовой частью, силовая часть с мощным выпрямителем и импульсным регулятором.

В процессе сушки молоко подаётся в питательный зазор между двумя нагреваемыми барабанами, вращающимися в противоположные стороны. Молоко наносится тонким слоем, толщина которого составляет 0,1–2,0 мм. Готовое сухое молоко снимается с помощью зафиксированных ножей и подаётся в приёмный бункер. Пар, образующийся в процессе сушки, отводится через вытяжной канал.

Цилиндрический корпус вальцов, представленный на рисунке 2, снабжен шестью инфракрасными нагревателями, размещенными рядами вдоль трехгранной оси на ее плоских гранях. Электропроводка подключена к электросети через регулятор напряжения с учетом вращения барабана относительно центральной оси и с возможностью угловых перемещений оси относительно барабана с последующей ее фиксацией.

Расположение инфракрасных нагревателей в два ряда на трех плоских гранях оси с одинаковым угловым расстоянием в 60° между рядами позволяет, с одной стороны, обеспечить равномерность нагрева цилиндрической стенки корпуса. С другой стороны, более чем в 1,5–2 раза уменьшить энергоемкость нагрева по сравнению с паровым способом нагрева.

Данная вальцовая сушилка имеет следующие технические характеристики:
– габаритные размеры – 620×5500×650 мм;
– длина вальцов – 550 мм;
– диаметр вальцов сушильных – 230 мм;
– инфракрасный нагрев барабанов;
– температура поверхности барабанов 60–125 °С;
– скорость вращения барабанов от 1 до 20 об/мин;
– масса сушилки – 28 кг.

Для подбора оптимальных параметров сушки молока нами был проведён ряд исследований в лаборатории НИИ биотехнологии Кемеровского государственного университета. Основными качественными показателями сухого молока, согласно ГОСТ 33629-2015 «Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия», являются массовая доля влаги, кислотность и индекс растворимости.

Определение массовой доли влаги производили на приборе Чижовой по ГОСТ 29246-91 «Межгосударственный стандарт консервы молочные сухие. Методы определения влаги». Кислотность определялась по ГОСТ 30305.3-95 «Консервы молочные сгущенные и продукты молочные сухие. Титриметрические методики выполнения измерений кислотности». Определение индекса растворимости проводили по ГОСТ 30305.4-95 «Продукты молочные сухие. Методика выполнения измерений индекса растворимости». Органолептические показатели оценивали по ГОСТ 294531 «Консервы молочные. Методы определения физических и органолептических показателей».

Исследование частиц получаемых образцов сухого молока проводилось методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). Исследуемые образцы наносились на медную решетку и анализировались на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390 при комнатной температуре.

Таблица 2. Результаты исследований

Table 2. Research results

Номеруемые показатели	ГОСТ 4495-87	Номера образцов					
		1	2	3	4	5	6
Массовая доля влаги, %	не более 4,0	3,45	2,95	2,60	3,55	3,05	2,75
Кислотность, °Т	не более 21	15,15	17,15	21,55	14,10	16,45	21,50
Индекс растворимости, см^3	1,5	2,2	2,5	3,0	2,0	2,4	2,8

Графические зависимости, представленные на рисунках экспериментальной части работы, приведены после обработки результатов исследований и реализованы в Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Результаты проделанных исследований представлены в таблице 2.

Образец № 1 – молоко, высушенное при температуре 92–95 °С, скорости вращения барабанов V = 3 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 2 мм; образец № 2 – молоко, высушенное при температуре 95–98 °С, скорости вращения барабанов V = 3 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 2 мм; образец № 3 – молоко, высушенное при температуре 98–101 °С, скорости вращения барабанов V = 3 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 2 мм; образец № 4 – молоко, высушенное при температуре 92–95 °С, скорости вращения барабанов V = 2 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 1 мм; образец № 5 – молоко, высушенное при температуре 95–98 °С, скорости вращения барабанов V = 2 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 1 мм; образец № 6 – молоко, высушенное при температуре 98–101 °С, скорости вращения барабанов V = 2 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 1 мм.

Важнейшим преимуществом сухого молока является более длительный срок хранения, чем у свежего, т. к. при низком содержании влаги развитие патогенных микроорганизмов не происходит. Зависимость массовой доли влаги от температуры представлена на рисунке 3. Исходя из данных таблицы 2, можно сделать вывод, что массовая доля влаги во всех образцах соответствует параметрам ГОСТа. Однако при увеличении температуры сушки количество влаги уменьшается и при температуре 98–101 °С образцы готового продукта подгорают и пересушиваются.

Кислотность является показателем свежести молока. Свежевыдоенное молоко имеет кислотность 16–18 °Т, но спустя несколько часов кислотность повышается, если молоко не охлаждалось. При кислотности 22 °Т молоко находится на грани свежего и кислого. Кислотность увеличивается в

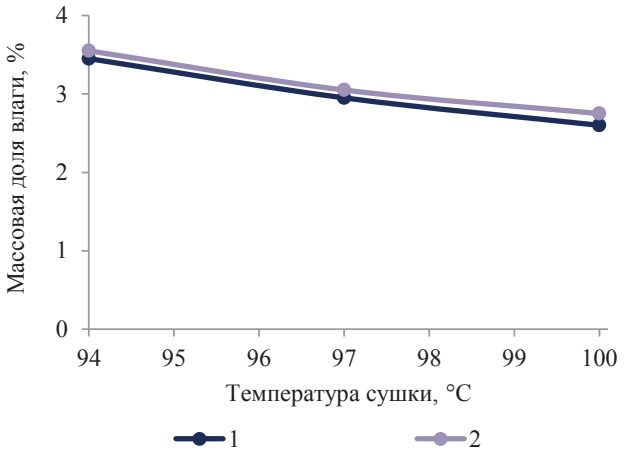


Рисунок 3. Зависимость массовой доли влаги от температуры: 1 – массовая доля влаги при V = 3 мин/оборот и расстоянием между барабаном и ножом 2 мм; 2 – массовая доля влаги при V = 2 мин/оборот и расстоянием между барабаном и ножом 1 мм

Figure 3. Effect of temperature on the mass fraction of moisture: 1 – mass fraction of moisture at V = 3 min/revolution and distance between the drum and the knife = 2 mm; 2 – mass fraction of moisture at V = 2 min/revolution and the distance between the drum and the knife = 1 mm

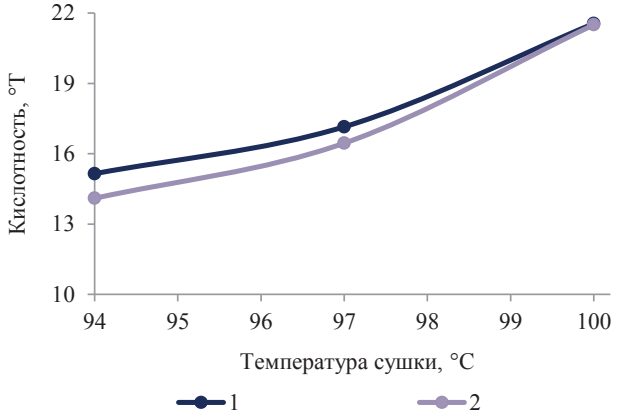


Рисунок 4. Зависимость кислотности от температуры: 1 – кислотность при V = 3 мин/оборот и расстоянием между барабаном и ножом 2 мм; 2 – кислотность при V = 2 мин/оборот и расстоянием между барабаном и ножом 1 мм

Figure 4. Effect of temperature on acidity: 1 – acidity at V = 3 min/revolution and distance between the drum and the knife = 2 mm; 2 – acidity at V = 2 min/revolution and the distance between the drum and the knife = 1 mm

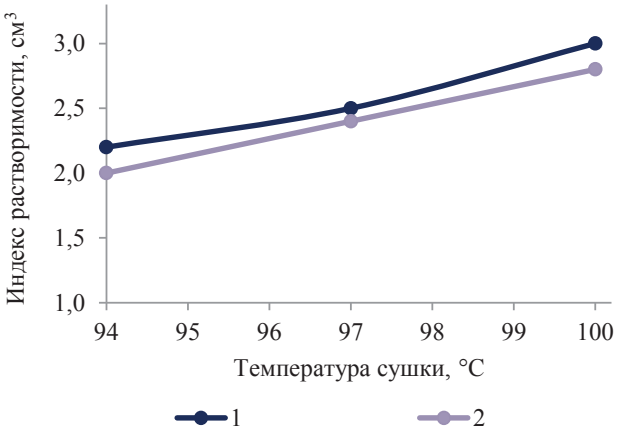


Рисунок 5. Зависимость индекса растворимости от температуры: 1 – индекс растворимости при V = 3 мин/оборот и расстоянием между барабаном и ножом 2 мм; 2 – индекс растворимости при V = 2 мин/оборот и расстоянием между барабаном и ножом 1 мм

Figure 5. Effect of temperature on solubility index: 1 – solubility index at V = 3 min/revolution and the distance between the drum and the knife = 2 mm; 2 – solubility index at V = 2 min/revolution and the distance between the drum and the knife = 1 mm

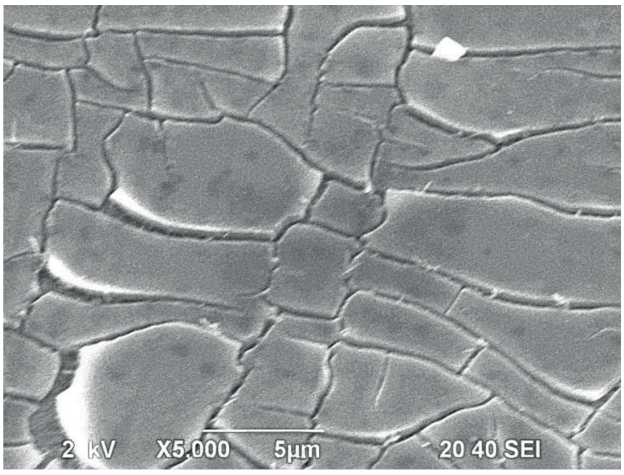


Рисунок 6. Сканирующая электронная микроскопия сухого молока, полученного при температуре 92–95 °С, V = 3 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 2 мм (образец 1)

Figure 6. Scanning electron microscopy of milk powder obtained at 92–95°C, V = 3 min/revolution, the distance between the drum and the knife = 2 mm (sample 1)

результате жизнедеятельности бактерий, которые переводят молочный сахар в молочную кислоту. Зависимость кислотности от температуры сушки представлена на рисунке 4.

Кислотность всех образцов, за исключением номеров 3 и 6, соответствует параметрам ГОСТа. Молоко под номером 3 и 6 подвергалось наиболее интенсивной термической обработке, поэтому в данных образцах произошло необратимое изменение минерального состава, что привело к повышению кислотности.

Индекс растворимости – это свойство, влияющее на продолжительность и качество восстановления, т. е. получения из сухого молока «сырого». Данный показатель существенно зависит от температуры и технологии производства сухого молока. Зависимость индекса растворимости от температуры сушки представлена на рисунке 5.

По данным таблицы 2 видно, что все образцы превышают параметры ГОСТа. Из рисунка 5 видно, что при повышении температуры сушки увеличивается и индекс растворимости. Высокая температура сушки приводит к необратимой тепловой денатурации белка, что снижает растворимость сухого молока.

Органолептические показатели полученного сухого молока представлены в таблице 3.

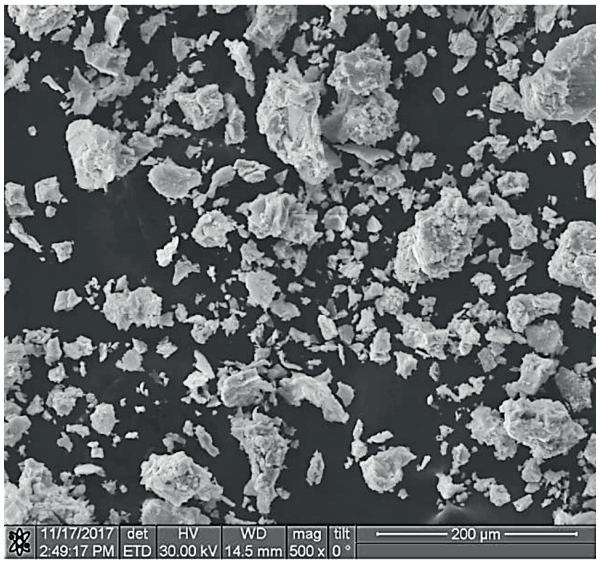
Все образцы, за исключением 3 и 6, соответствуют параметрам ГОСТа.

Частицы сухого молока, высушенного на вальцах, имеют неправильную форму и острые края, т. к. готовый продукт измельчают в порошок в процессе дробления. На рисунках 6–8 представлена сканирующая электронная микроскопия полученных образцов сухого молока.

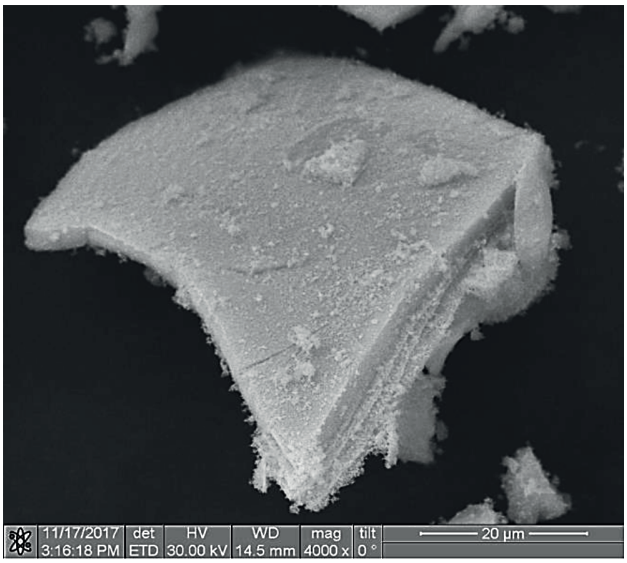
Таблица 3. Органолептические показатели

Table 3. Sensory properties

Номера образцов	Показатели		
	Внешний вид и консистенция	Цвет	Вкус и запах
1 и 2	Мелкий сухой порошок, состоящий из неоднородных частиц, встречаются комочки	Кремовый оттенок равномерным по массе	Вкус и запах, свойственный кипячённому молоку, имеется карамельный привкус
3	Сухой порошок, состоящий из частиц различного размера	Кремово-желтый, оттенок не равномерен по массе	Вкус и запах подгорелого молока
4 и 5	Мелкий сухой порошок, состоящий из однородных частиц, без комочков	Белый с кремовым оттенком равномерным по массе	Вкус и запах, свойственный кипячённому молоку, имеется карамельный привкус
6	Сухой порошок, состоящий из частиц различного размера	Кремово-желтый, оттенок не равномерен по массе	Вкус и запах подгорелого молока



(а)



(б)

Рисунок 7. Сканирующая электронная микроскопия сухого молока полученного при температуре 98–101 °С, V = 3 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 2 мм (образец 3)

Figure 7. Scanning electron microscopy of powdered milk obtained at 98–101°C, V = 3 min/revolution, the distance between the drum and the knife = 2 mm (sample 3)

Из анализа рисунка 6 следует, что сухое молоко, получаемое в данных условиях, имеет плоские частицы с большим соотношением площади к толщине. Формы частиц характерны для вальцового процесса получения сухого продукта со средним размером 10–20 мкм. Однако эти частицы представлены в виде составного агломерата без разделения на отдельные частицы, что может соответствовать наличию остаточной влаги.

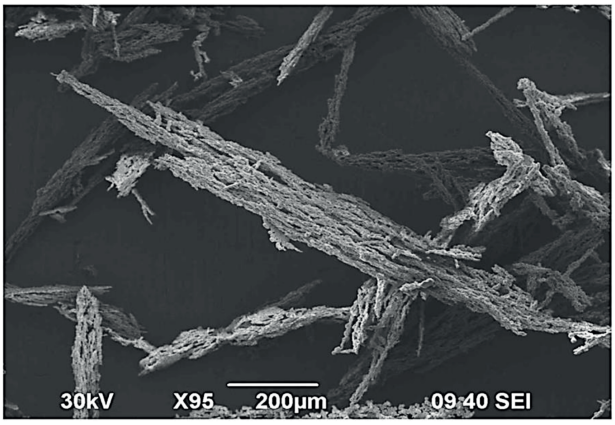


Рисунок 8. Сканирующая электронная микроскопия сухого молока полученного при температуре 95–98 °С, V = 2 мин/оборот, расстояние между барабаном и ножом 1 мм (образец 5)

Figure8. Scanning electron microscopy of powdered milk obtained at 95–98°C, V = 2 min/revolution, the distance between the drum and the knife = 1 mm (sample 5)

Из анализа изображения 7 следует, что сухое молоко, получаемое в данных условиях, имеет плоские, компактные частицы с большим соотношением площади к толщине. Формы частиц характерны для вальцового процесса получения сухого продукта со средним размером 50 мкм. Также при увеличении (рис. 7б) можно наблюдать, что единичные частицы имеют наслоения, т. е. состоят из нескольких слоев. Это говорит о неоптимальных условиях процесса сушки.

На рисунке 8 видно, что получаемый продукт представляет из себя отдельные и достаточно тонкие частицы, которые вытянуты параллельно направлению ножа, получаемые в процессе их отделения (срезания) с поверхности вращающего барабана.

Выводы

Опираясь на полученные данные, можно сделать следующие выводы:

– полученные образцы, высушенные при температуре свыше 98 °С, имеют худшие характеристики и не соответствуют параметрам ГОСТа;

– температуру сушки от 92 °С до 95 °С можно считать оптимальной, так как при данной температуре все характеристики, за исключением индекса растворимости, соответствуют параметрам ГОСТа;

– органолептические и физические показатели сухого молока, полученного при скорости вращения барабанов V = 2 мин/оборот и расстоянием между барабаном и ножом 1 мм, лучше, чем при скорости вращения барабанов V = 3 мин/оборот и расстояние между барабаном и ножом 2 мм. Поэтому дальнейшая

работа будет заключаться в подборе оптимальной скорости вращения барабанов и расстоянии между ножом и барабаном. Возможно варьирование этими параметрами поспособствует улучшению индекса растворимости сухого молока.

Критерии авторства

М. Е. Белецкая и А. А. Владимиров внесли существенный вклад в дизайн исследования, получение данных, их анализ и интерпретацию. М. Е. Белецкая и О. В. Козлова осуществили написание первой версии статьи. И. С. Милентьева осуществила критический пересмотр статьи на предмет важного интеллектуального содержания.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

Contribution

M.E. Beletskaya and A.A. Vladimirov made a significant contribution to the design of the study, data acquisition, analysis, and interpretation. M.E. Beletskaya and O.V. Kozlova wrote the first version of the article. I.S. Milentyeva reviewed the draft and added important intellectual content.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Чепраков, Д. В. Актуальные проблемы молочной промышленности России / Д. В. Черпаков, С. Г. Авруцкая // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. 30, № 8 (177). – С. 116–118.

2. Novoselova, M. V. Technological options for the production of lactoferrin / M. V. Novoselova, A. Yu. Prosekov // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 90–101. DOI: https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-90-101.

3. Оразов, А. Оценка биологической ценности молока сельскохозяйственных животных / А. Оразов, Л. А. Надточий, А. В. Сафронова // Техника и технологии пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 3. – С. 447–453. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-447-453.

4. Глухарева, А. Л. Химический состав и свойства молока высокопродуктивных коров / А. Л. Глухарёва, Т. П. Логинова // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2011. – Т. 9, № 4. – С. 7–9.

5. Геворкян, К. А. К вопросу о эффективности технологического потенциала формирования качества сухого молока / К. А. Геворкян // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2017. – Т. 230, № 2. – С. 55–59 .

6. Першина А. А. Сухое обезжиренное обогащённое молоко «SECONDLIFE» / А. А. Першина, М. И. Сложенкина // Фермер. Поволжье. – 2015. – Т. 33, № 2. – С. 58–59.

7. Ивкова, И. А. Современные технологии получения сухих молочных консервов высокого качества / И. А. Ивкова, А. С. Пиляева // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2015. – Т. 31, № 4. – С. 89–94.

8. Galstyan, A. G. Theoretical backgrounds for enhancement of dry milk dissolution process: mathematical modeling of the system ‘solid particles – liquid’ / A. G. Galstyan, A. N. Petrov, V. K. Semipyatniy // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 102–109. DOI: https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-102-109.

9. Westergaard, V. Milk Powder Technology. Evaporation and Spray Drying / V. Westergaard. – Copenhagen : GEA Niro, 2010. – 339 p.

10. Lyophilization / freeze drying – A review / A. G. Kunal, H. Mallinath, B. Deepak [et al.] // World Journal of Pharmaceutical Research. – 2015. – Vol. 4, № 8. – P. 516–543.

11. Francis, F. J. Dryers: Technology and Engineering / F. J. Francis // Encyclopedia of Food Science and Technology / F. J. Francis. – New York : Wiley, 2000. – P. 542–578.

12. Hall, C. W. Drum drier / C. W. Hall, A. W. Farrall, A. L. Roppen // Encyclopedia of Food Engineering / C. W. Hall, A. W. Farrall, A. L. Roppen. – Westport, Connecticut : AVI Publishing Company, 1996. – P. 264–266.

13. Caric, M. Effects of drying techniques on milk powders quality and microstructure: A review / M. Caric, M. Kalab // Food Structure. – 1987. – Vol. 6, № 2. – P. 171–180.

14. Okos, M. R. Food Dehydration / M. R. Okos, G. Narsimhan, R. K. Singh // Handbook of Food Engineering / D. R. Heldman, D. B. Lund, C. Sabliov. – New York : John Wiley & Sons, 2000. – 516 p.

15. Vilder, J. Influence of process variables on some whole milk powder characteristics / J. Vilder, R. de Martens, M. Naudts // Milk Industry. – 1976. – Vol. 31. – P. 396–401.

16. Попова, Н. В. Обеспечение интенсификации технологии восстановления сухого молока на основе методов математического моделирования / Н. В. Попова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 29–38. DOI: https://doi.org/10.14529/food160104.

References

1. Cheprakov DV, Avrutskaya SG. Current problems of dairy industry in Russia. Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]. 2016;30(8)(177):116–118. (In Russ.).

2. Novoselova MV, Prosekov AYu. Technological options for the production of lactoferrin. Foods and Raw Materials. 2016;4(1):90–101. DOI: https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-90-101.

3. Orazov A, Nadtochii LA, Safronova AV. Assessing the biological value of milk obtained from various farm animals. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(3):447–453. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-447-453.

4. Loginova TP, Gluhareva AL. The chemical composition and properties of milk of highly productive cows. Theoretical Heoretical & Applied Problems of Agro-industry. 2011;9(4):7–9. (In Russ.).

5. Gevorgyan KA. The effects of technological formation of dry milk quality. Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2017;230(2):55–59. (In Russ.).

6. Pershina AA, Slozhenkina MI. Sukhoe obezzhirennoe obogashchyonnoe moloko 'SECONDLIFE' [Skimmed milk powder 'SECONDLIFE']. Fermer. Povolzh′e [Farmer. Povolzhye]. 2015;33(2):58–59. (In Russ.).

7. Ivkova IA, Pilyaeva AS. Modern technologies of high-quality dry canned milk. Vestnik gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural′ya [Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals]. 2015;31(4):89–94. (In Russ.).

8. Galstyan AG, Petrov AN, Semipyatniy VK. Theoretical backgrounds for enhancement of dry milk dissolution process: mathematical modeling of the system 'solid particles – liquid'. Foods and Raw Materials. 2016;4(1):102–109. DOI: https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-102-109.

9. Westergaard V. Milk Powder Technology. Evaporation and Spray Drying. Copenhagen: GEA Niro; 2010. 339 p.

10. Kunal AG, Mallinath H, Deepak B, Pallavi SN. Lyophilization / freeze drying – A review. World Journal of Pharmaceutical Research. 2015;4(8):516–543.

11. Francis FJ. Dryers: Technology and Engineering. In: Francis FJ, editor. Encyclopedia of Food Science and Technology. New York: Wiley; 2000. pp. 542–578.

12. Hall CW, Farrall AW, Roppen AL. Drum drier. In: Hall CW, Farrall AW, Roppen AL, editors. Encyclopedia of Food Engineering. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company; 1996. pp. 264–266.

13. Caric M, Kalab M. Effects of drying techniques on milk powders quality and microstructure: A review. Food Structure. 1987;6(2):171–180.

14. Okos MR, Narsimhan G, Singh RK. Food Dehydration. In: Heldman DR, Lund DB, Sabliov C, editors. Handbook of Food Engineering. New York: John Wiley & Sons; 2000. pp. 516.

15. Vilder J, de Martens R, Naudts M. Influence of process variables on some whole milk powder characteristics. Milk Industry. 1976;31:396–401.

16. Popova NV. Provision of intensification of technologies of milk recombination on the basis of methods of mathematical modelling. Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2016;4(1):29–38. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14529/food160104.

Сведения об авторах

Белецкая Марина Евгеньевна
младший научный сотрудник НИИ биотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: Beletskaya.ME@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-9290-6197

Владимиров Александр Александрович
научный сотрудник Научно-инновационного управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: fizickemsu@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8438-2872

Козлова Оксана Васильевна
канд. техн. наук, доцент, директор технологического института пищевой промышленности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: tf@kemsu.ru

Милентьева Ирина Сергеевна
канд. техн. наук, доцент кафедры бионанотехнологии, старший научный сотрудник научно-образовательного центра, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: bionano_kem@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3536-562X

Information about the authors

Marina E. Beletskaya
Junior Researcher of the Research Institute of Biotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: Beletskaya.ME@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-9290-6197

Alexander A. Vladimirov
Researcher of the Scientific and Innovative Management, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: fizickemsu@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8438-2872

Oksana V. Kozlova
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Director of the Technological Institute of Food Industry, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: tf@kemsu.ru

Irina S. Milentyeva
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Bionanotechnology, Senior Research of the Center of Research and Education, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: bionano_kem@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3536-562X