

13. Kirsanov, V.V. Struinaia model pritoka ventilatsionnogo vozdukhа iz teploutilizatsionnoi ustanovki / V.V. Kirsanov, I.Iu. Ignatkin // Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniia vysshego professional'nogo obra-

zovaniia «Moskovskii gosudarstvennyi agroinzhenernyi universitet imeni V.P. Goriachkina». – 2018. – No. 2 (84). – S. 28-32. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-2-28-32.



УДК 637.026

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-236-6-108-113

А.В. Медведев

A.V. Medvedev

ТЕХНОЛОГИЯ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ СЫРНЫХ ЗАКВАСОК

CHEESE STARTER CULTURE INFRARED DRYING TECHNOLOGY

Ключевые слова: сушка, сырные закваски, спектр, влажность, параметры, кинетика сушки, технология, импортозамещение, эксперимент, экспериментальный макет.

Рассмотрены вопросы сушки сырных заквасок. Кратко описано современное состояние вопроса. Выявлены проблемы, и предложена технология сушки молочных заквасок. Сформулированы цель и задачи исследования. Определены объект и методы исследования. Разработан экспериментальный макет сушильной установки, который состоит из 6 ярусов, на каждом из которых расположен лоток для продукта. Максимальная загрузка – 20 л жидкого продукта. В пищевой промышленности известна проблема прилипания и пригорания при сушке жидкого сырья. В разработанной установке данная проблема решена с помощью использования тефлоновой подложки на дне лотка. Данное решение позволяет значительно сократить потери продукта. Габариты сушилки 750x560x470 мм. Проведены эксперименты по определению влажностных характеристик продукта. Получена кривая влажности продукта во время процесса сушки. Определены критические точки. Проведены исследования по нахождению начальной и конечной влажности сырных заквасок. Начальная влажность равна 91,34%, а конечная – 5,3%. Определено время сушки сырных заквасок, которое составило 1080 мин. Проведены исследования по нахождению спектральных характеристик исследуемого продукта. Получены зависимости длины волны от пропускания. Проведено согласование оптических свойств продукта и рабочего диапазона длин волн источника излучения. Определена оптимальная температура процесса сушки, которая составила 39,66°C. Такая температура позволит сохранить наибольшее количество полезных веществ в конечном продукте. Сделаны выводы об эффективности предложенной технологии, позволяющей провести процесс сушки при низкой температуре, сохраняя полезные вещества в конечном продукте.

Keywords: drying, cheese starter culture, spectrum, moisture content, parameters, drying kinetics, technology, import substitutions, experiment, experimental layout.

The issues of drying cheese starter cultures are discussed. The current state of the issue is briefly described. The problems have been identified and a technology for drying dairy starter cultures has been proposed. The research goal and objectives are formulated. The research target and methods are determined. An experimental layout of the drying plant has been developed which consists of 6 tiers, each of has a tray for the product. The maximum load is 20 L of liquid product. In the food industry, the problem of adhesion and burning during drying of liquid raw materials is known. In the developed installation, this problem is solved by using a Teflon mat at the bottom of the tray. This solution allows significantly reducing product losses. The dimensions of the dryer are equal to 750 × 560 × 470 mm. Experiments have been carried out to determine the moisture characteristics of the product. The moisture curve of the product during the drying process is obtained. Critical points have been identified. Studies have been conducted to find the initial and final moisture content of cheese starter cultures. The initial moisture content is 91.34%, and the final moisture content is 5.3%. The drying time of cheese starter cultures was determined which was 1080 minutes. Studies have been conducted to find the spectral characteristics of the product under study. The dependences of the wavelength on the transmission are obtained. The optical properties of the product and the operating wavelength range of the radiation source were coordinated. The optimal temperature of the drying process was determined which was 39.66°C. This temperature will allow saving the largest amount of useful substances in the final product. The conclusions are made about the effectiveness of the proposed technology. The technology allows performing drying process at a low temperature while preserving the useful substances in the final product.

Медведев Андрей Витальевич, ассистент, ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, г. Челябинск, Российская Федерация, e-mail: vestarvestar@mail.ru.

Medvedev Andrey Vitalevich, Asst., South-Ural State Agricultural University, Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: vestarvestar@mail.ru.

Введение

На сегодняшний день в период серьезных санкций и различных ограничений для нашей страны вопросы обеспечения продовольственной безопасности как никогда актуальны и требуют внимательного изучения. После введения санкций и ухода крупных игроков с российского рынка, а также в связи с различными трудностями, связанными с разрывом цепочек поставок, на российском рынке возникла острая нехватка заквасок для сыроделия. Традиционно данный рынок характеризовался сильной импортозависимостью. По оценкам экспертов более 90% всех сырных заквасок поступают на российский рынок из-за рубежа. Россия является одним из крупнейших потребителей сырных заквасок в мире. В РФ ввозится более 250 т импортного сырья. Основными поставщиками сырных заквасок в РФ являются страны Европы. Лидерами по объему импорта выступают Франция, Нидерланды, Германия, Швеция и Бельгия. Российские производители не могут конкурировать с зарубежными поставщиками по ряду причин. Во-первых, в данном сегменте рынка слабая инвестиционная программа со стороны государства. Компании, которые занимались производством сырных заквасок, постоянно закрывались из-за низкого финансирования отрасли. Во-вторых, слабая научно-техническая база. Исследовательские институты не имеют современного оборудования для проведения исследований. В-третьих, оборудование, используемое на предприятиях, также является зарубежным. Оно дорогое в обслуживании и требует постоянного контроля со стороны специалиста. Отечественные сушильные установки имеют низкий КПД, а также конечный продукт получается низкого качества, при этом затраты на производство значительно выше [1]. Проблема сушки сырья – одной из главных проблем при производстве сырных заквасок, так как этот процесс является одним из самых сложных в производстве готовой продукции. На данном этапе важно не только удалить влагу из начального продукта, но при этом сохранить полезные вещества, а также не допустить развитие патогенной микрофлоры. Важно найти оптимальные параметры сушки для сохранения наибольшего числа полезных веществ [2].

Цель исследования заключается в разработке технологии, позволяющей получить продукт высокого качества, при этом технология должна обладать положительным экономическим эффектом.

Задачи исследования:

- 1) установить спектральные характеристики сырных заквасок;
- 2) получить кривую влажности процесса сушки сырных заквасок с критическими точками;
- 3) провести эксперимент по сушке сырных заквасок на разработанной сушильной установке;
- 4) сделать вывод об эффективности разработанной технологии.

Объекты и методы

Сушка является одним из главных и сложных этапов производства сырных заквасок, позволяющая увеличить срок годности готовой продукции. При этом сушка дает возможность значительно сократить затраты на хранение и транспортировку сырья.

Сырная закваска – сложный по составу продукт. Основным компонентом его в составе является молочный лактококк. Именно эти бактерии входят в состав многих отечественных и зарубежных заквасок. Оптимальная температура роста для этих бактерий лежит в диапазоне 30-35°C. Еще одним важным компонентом в составе сырных заквасок является термофильная культура *Lactobacillus helveticus*. Оптимальная температура роста для нее равна 40-44°C.

Экспериментальная часть

Экспериментальная часть состояла из нескольких этапов. На первом этапе разработан экспериментальный макет сушильной установки. На втором этапе проведены исследования по нахождению показателей влажности и кривой кинетики процесса сушки сырных заквасок. На третьем этапе получены спектральные характеристики продукта и найдена оптимальная температура сушки. На первом этапе разработан экспериментальный макет сушильной установки, состоящей из 6 ярусов, на каждом из которых расположен лоток для продукта. Максимальная загрузка – 20 л жидкого продукта. В пищевой промышленности известна проблема прилипа-

ния и пригорания при сушке жидкого сырья. В разработанной установке данная проблема решена с помощью использования тефлоновой подложки на дне лотка. Данное решение позволяет значительно сократить потери продукта. В предыдущих исследованиях был обоснован выбор материала подложки [3]. Габариты сушилки 750x560x470 мм. Каждый ярус оснащен пленочным электронагревателем с верхней и нижней сторон для равномерного протекания процесса сушки (рис. 1). Установка также оснащена системой контроля температуры и влажности, а данные с датчиков поступают на компьютер для дальнейшей обработки и изучения процесса сушки. Экономическая эффективность лотковых установок была определена в прошлых исследованиях [4].

Второй этап заключался в определении влажностных характеристик исследуемого продукта. На сегодняшний день в теории сушки известна кривая процесса обезвоживания (рис. 2) [5]. Такая кривая позволяет определить критические точки процесса сушки и оптимизировать время сушки, сокращая энергозатраты. В своем

исследовании было принято решение провести эксперимент по определению влажности продукта. Кривая кинетики сушки представлена на рисунке 3. С помощью данной кривой определены критические точки, получены временные диапазоны для каждого этапа сушки и определено время сушки сырных заквасок, которое составило 1080 мин. (18 ч).

Второй этап заключался в определении влажностных характеристик исследуемого продукта. На сегодняшний день в теории сушки известна кривая процесса обезвоживания (рис. 2) [5]. Такая кривая позволяет определить критические точки процесса сушки и оптимизировать время сушки, сокращая энергозатраты. В своем исследовании было принято решение провести эксперимент по определению влажности продукта. Кривая кинетики сушки представлена на рисунке 3. С помощью данной кривой определены критические точки, получены временные диапазоны для каждого этапа сушки и определено время сушки сырных заквасок, которое составило 1080 мин. (18 ч).



Рис. 1. Экспериментальный макет сушильной установки

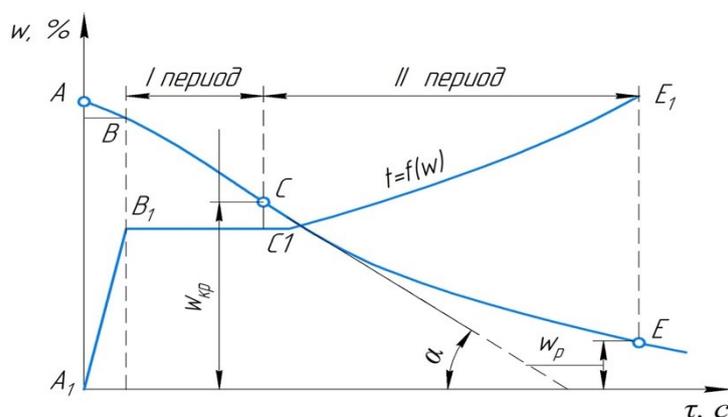


Рис. 2. Теоретическая кривая кинетика процесса сушки пищевых продуктов

В ходе исследования были определены значения начальной и конечной влажности заквасок:

начальная влажность = 91,34%; конечная влажность = 5,2%. Данные исследования про-

дилься с помощью влагоанализатора Элвиз-2С. Для оптимального процесса сушки необходимо согласовать оптические свойства нагревателя, в нашем случае в качестве нагревателя выступает ИК-генератор, и спектральную характеристику продукта [6]. Такое согласование позволяет

определить наиболее оптимальную температуру процесса сушки и сохранить наибольшее количество полезных веществ в конечном продукте. Исследования спектральных характеристик продукта проводились с помощью Фурье-спектрометра ФСМ 2201 (рис. 4).



Рис. 3. Кривая влажности продукта, полученная в ходе проведения эксперимента

Спектральная характеристика сырной закваски

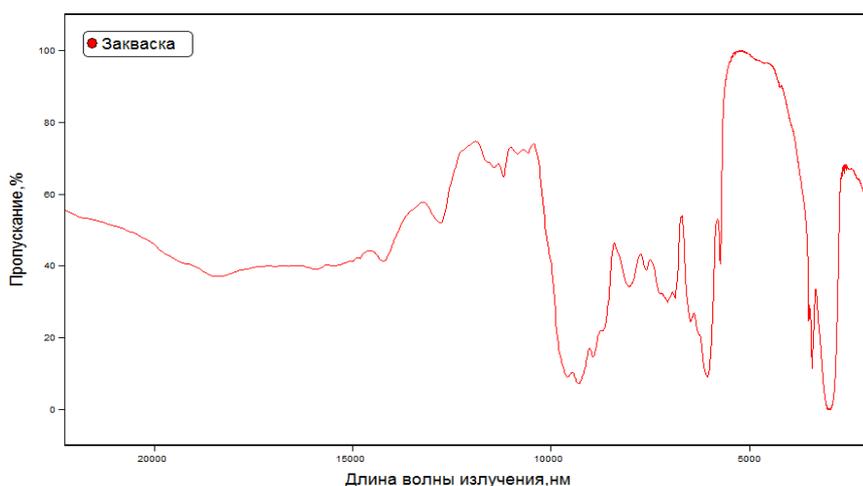


Рис. 4. Спектральная характеристика сырных заквасок

Исходя из полученных спектральных характеристик можно определить наиболее оптимальные температуры для сушки сырных заквасок

Для нахождения оптимальной температуры процесса сушки необходимо согласовать оптические свойства излучателя и спектральную характеристику исследуемого объекта.

Путем выделения диапазона рабочих длин волн пленочного электронагревателя (8-10 мкм)

на графике спектральной характеристики сырной закваски (рис. 5) можно определить наиболее оптимальную температуру сушки, она соответствует пику пропускания (экстремуму функции) [7].

Связь между температурой и длиной волны излучения определяет закон прямого смещения Вина, с помощью которого определена оптимальная температура проведения процесса сушки сырных заквасок – 39,66°С.

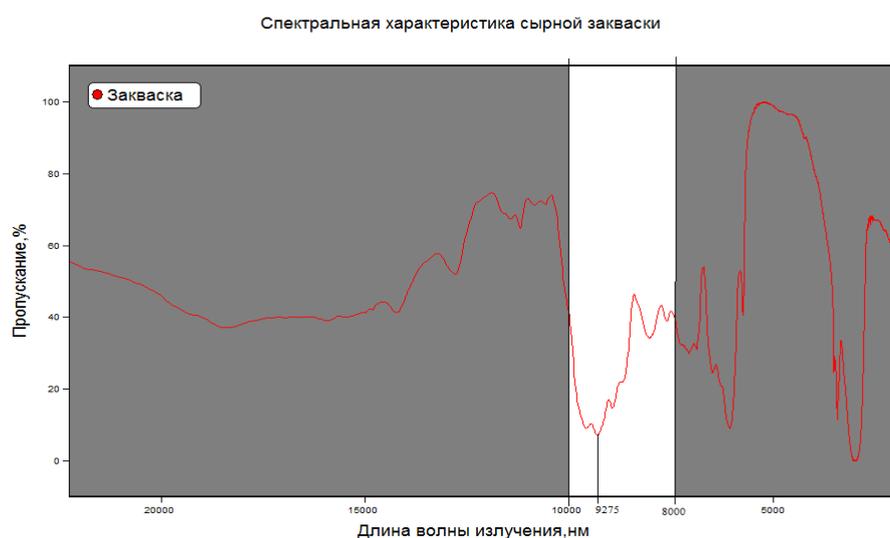


Рис. 5. Согласование спектральной характеристики и рабочего диапазона излучателя

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе исследования получены влажностные и спектральные характеристики продукта, что позволило определить оптимальную температуру для процесса сушки сырных заквасок. Поскольку в составе сырных заквасок присутствуют компоненты, для которых оптимальная температура роста находится в диапазон от 30 до 44°C, полученное значение полностью соответствует требованиям по сохранности полезных веществ в продукте.

Заключение

Предложенная технология позволяет обеспечить процесс сушки при оптимальной температуре, сохраняя наибольшее количество полезных веществ. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку промышленного образца для сушки сырных заквасок.

Выводы

1. Установлены влажностные характеристики продукта, а также найдены критические точки процесса сушки. Время процесса сушки – 1080 мин.
2. Получены спектральные характеристики сырных заквасок. Длина волны в критической точке равна 9275 нм. Оптимальная температура сушки сырных заквасок – 39,66°C по закону смещения Вина.
3. Разработанная технология показала свою эффективность в ходе исследования.

Библиографический список

1. Краткий аналитический обзор проблем и перспектив развития отечественного рынка молочных заквасок / В. М. Попов, В. А. Афонькина, В. Н. Левинский, А. В. Медведев. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере технического сервиса машин и энергетики: теория и практика: сборник материалов / Национальная (Всероссийская) научная конференция Института агроинженерии, Челябинск, 06-09 декабря 2022 года / под редакцией Н. С. Низамутдиновой. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2022. – С. 238-244.
2. Левинский, В. Н. Обоснование технологии и параметров установки инфракрасной сушки высоковлажного биологического сырья на примере томата: специальность 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Левинский Василий Николаевич. – Челябинск, 2021. – 169 с. – Текст: непосредственный.
3. Popov, V., Afonkina, V., Levinskiy, V., Medvedev, A. (2022). Research of substrate materials for drying liquid materials. *AIP Conference Proceedings*. 2661. 060008. DOI: 10.1063/5.0107701.
4. Попов, В. М. Особенности использования гибких пленочных электронагревателей в технологии сушки молочных заквасок / В. М. Попов,

В. А. Афонькина, А. В. Попова. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы агроинженерных и сельскохозяйственных наук: теория и практика: сборник материалов / Национальная научная конференция Института агроинженерии, Института агроэкологии, Челябинск, Миасское, 10-11 июня 2019 года. – Челябинск; Миасское: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2019. – С. 103-109.

5. Техничко-экономическая оценка внедрения установки лоткового типа для сушки молочных заквасок / В. А. Афонькина, В. М. Попов, В. Н. Левинский, А. В. Медведев. – Текст: непосредственный // Техника и технологии в животноводстве. – 2023. – № 3 (51). – С. 92-97.

6. К вопросу комбинированной инфракрасной сушки пищевых продуктов / А. В. Медведев, В. М. Попов, В. Н. Левинский, В. А. Афонькина. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы энергетики АПК: сборник материалов / X национальная научно-практическая конференция с международным участием, Саратов, 22 апреля 2019 года / под общей редакцией В. А. Трушкина. – Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2019. – С. 156-158.

7. Popov, V.M., Afonkina, V.A., Levinsky, V.N., Medvedev, A.V. (2023). Study of the process of infrared drying of lactic starter cultures. *E3S Web of Conferences*. 395. DOI: 10.1051/e3sconf/202339501004.

References

1. Kratkii analiticheskii obzor problem i perspektiv razvitiia otechestvennogo rynka molochnykh zakvasok / V.M. Popov, V.A. Afonkina, V.N. Levinskii, A.V. Medvedev // Aktualnye voprosy agroinzhenernykh nauk v sfere tekhnicheskogo servisa mashin i energetiki: teoriia i praktika: Materialy Natsionalnoi (Vserossiiskoi) nauchnoi konferentsii Instituta agroinzhenerii, Cheliabinsk, 06–09 dekabrja 2022 goda / pod redaktsiei N.S. Nizamutdinovoi. – Cheliabinsk: Iuzhno-Uralskii GAU, 2022. – S. 238-244.

2. Levinskii, V.N. Obosnovanie tekhnologii i parametrov ustanovki infrakrasnoi sushki vysokovlazhnogo biologicheskogo syria na primere tomata: spetsialnost 05.20.02 "Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v selskom khoziaistve": dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Levinskii Vasilii Nikolaevich. – Cheliabinsk, 2021. – 169 s.

3. Popov, V., Afonkina, V., Levinskiy, V., Medvedev, A. (2022). Research of substrate materials for drying liquid materials. *AIP Conference Proceedings*. 2661. 060008. DOI: 10.1063/5.0107701.

4. Popov, V.M. Osobennosti ispolzovaniia gibkikh plenochnykh elektronagrevatelei v tekhnologii sushki molochnykh zakvasok / V.M. Popov, V.A. Afonkina, A.V. Popova // Aktualnye voprosy agroinzhenernykh i selskokhoziaistvennykh nauk: teoriia i praktika: Materialy natsionalnoi nauchnoi konferentsii Instituta agroinzhenerii, Instituta agroekologii, Cheliabinsk, Miasskoe, 10–11 iunija 2019 goda. – Cheliabinsk, Miasskoe: Iuzhno-Uralskii UFE, 2019. – S. 103-109.

5. Tekhniko-ekonomicheskaia otsenka vnedreniia ustanovki lotkovogo tipa dlia sushki molochnykh zakvasok / V.A. Afonkina, V.M. Popov, V.N. Levinskii, A.V. Medvedev // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. – 2023. – No. 3 (51). – S. 92-97.

6. K voprosu kombinirovannoi infrakrasnoi sushki pishchevykh produktov / A.V. Medvedev, V.M. Popov, V.N. Levinskii, V.A. Afonkina // Aktualnye problemy energetiki APK: Materialy X natsionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Saratov, 22 aprelija 2019 goda / pod obshch. red. Trushkina V.A. – Saratov: ООО "Tsentr sotsialnykh agroinnovatsii SGAU", 2019. – S. 156-158.

7. Popov, V.M., Afonkina, V.A., Levinsky, V.N., Medvedev, A.V. (2023). Study of the process of infrared drying of lactic starter cultures. *E3S Web of Conferences*. 395. DOI: 10.1051/e3sconf/202339501004.

