

УДК 664.8/9

Разработка вакуум-сублимационной сушилки для обезвоживания жидких продуктов

*Д-р техн. наук С. В. ШАХОВ, канд. техн. наук Г. И. МОСОЛОВ,
Р. А. БАРЫКИН*
s_shahov@mail.ru

*Воронежский государственный университет инженерных технологий
394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19*

Вакуум-сублимационная сушка — сложный технологический процесс, требующий глубокого анализа с точки зрения его эффективного функционирования. Проведен анализ промышленного производства пищевых продуктов при помощи сублимационного обезвоживания в нашей стране, так и за рубежом. Описаны положительные и отрицательные стороны процесса сублимационной сушки пищевых продуктов. Проанализированы тенденции развития сублимационного сушильного оборудования. В работе предложена конструкция вакуум-сублимационной сушилки для обезвоживания жидких продуктов, которая позволяет повысить энергоэффективность процесса сушки жидких продуктов за счет эффекта самозамораживания и использования теплоты фазовых превращений как источника энергии для испарения влаги. Снабженный испарительной ванной гранулятор предотвращает блокировку обогреваемой форсунки замороженным продуктом, что значительно увеличивает эксплуатационную надежность распылительных вакуум-сублимационных сушилок.

Ключевые слова: сублимационная распылительная сушилка, гранулятор, энергоэффективность, самозамораживание.

Development of the vacuum freeze-dryer for dehydration of liquid products

*D. Sc. S. V. SHAKHOV, Ph. D. G. I. MOSOLOV,
R. A. BARYKIN*
s_shahov@mail.ru

*Voronezh State University of Engineering Technologies
394036 Voronezh, Russia*

The analysis of industrial food products using sublimation dehydration both in our country and abroad is made. The positive and negative aspects of the freeze-dried food production are described. Trends in the development of freeze drying equipment are analyzed. The paper presents the design of vacuum freeze-dryer to dehydrate liquid products allowing to increase the efficiency of the drying process of liquid products due to the effect of heat and use autofreezing phase transformations as a source of energy for evaporation. Granulator supplied with evaporator bath prevents heated nozzle blockage by the frozen product, which increases the operational reliability of the vacuum-freeze spray dryers considerably.

Keywords: vacuum-freeze spray dryers, granulator, energy efficiency, self-freezing.

В настоящее время промышленное производство пищевых продуктов сублимационной сушки интенсивно развивается в ряде стран. Все большее число продуктов животного и растительного происхождения подвергается сублимационному обезвоживанию. Многие зарубежные фирмы заняты изготовлением оборудования и выпуском продукции в больших масштабах.

На отечественном рынке производства сублимированных продуктов и ингредиентов представлено не более десяти компаний. По оценкам экспертов, основными участниками в данном сегменте рынка являются Fromatech ingredients, представляющая продукцию германской фирмы Molda, «Галакс», «Фудлайн», американская компания «Три Топ» и некоторые другие компании.

Однако в последнее время наметилась положительная тенденция роста числа российских компаний, занимающихся производством и продажей пищевых добавок и ингредиентов. Внедрение инновационных технологий производства в данной отрасли позволяет динамично развиваться не только крупным компаниям, но и более мелким фирмам, что в конечном итоге создает предпосылки для роста российского продовольственного рынка.

При длительных сроках хранения и максимального сбережения качественных показателей термолабильных составляющих разнообразных продуктов и сред пищевого и фармацевтического назначения наиболее целесообразным видится применение прогрессивного метода консервирования термолабильных материалов, а именно вакуум-сублимационной сушки, путем обезвоживания до влажности 2,4...3,6% которая позволяет обеспечить максимальное сохранение большинства нативных свойств пищевых продуктов, биологических материалов и медицинских препаратов в процессе их длительного хранения.

Широкий ассортимент предлагаемых сублимированных продуктов (ягод, фруктов, грибов и т. п.) позволяет удовлетворить самый взыскательный спрос производителей, выпускающих сухие завтраки, каши быстрого приготовления, мюсли и т. п. Таким же образом получают натуральные добавки из овощей, грибов, мяса, рыбы,

что значительно расширяет возможности для выпуска новых видов продукции, удовлетворяющих растущий спрос потребителей в натуральной и здоровой пище.

Тенденция потребительского рынка к использованию натуральных ингредиентов диктует компаниям необходимость поиска новых технологий в производстве пищевых добавок, и, в этом аспекте, сублимационная сушка отвечает всем требованиям (сохранение формы, цвета, аромата, вкуса, витаминов и микроэлементов исходного сырья, малый вес, что снижает расходы при транспортировке, возможность длительного срока хранения при соответствующей упаковке).

Однако на сегодняшний день, вакуум-сублимационная сушка является одной из самых дорогостоящих в силу своей высокой технологичности. Использование такой продукции могут позволить себе только крупные производители, имеющие в своем активе уже хорошо известные торговые брэнды.

Существенной проблемой сублимационной сушки, по сравнению с атмосферной конвективной или обычной контактной вакуум-сушкой, являются высокая стоимость установки, большая сложность ее эксплуатации и значительный расход электроэнергии на холодильную установку и вакуум-насос.

В настоящее время возникла необходимость в улучшении энергоэффективности технологии сублимационного обезвоживания [1], разработке новых эффективных видов оборудования, направленных на повышение качества получаемых продуктов [2]. Одна из задач совершенствования процесса сублимационной сушки (снижения продолжительности, энергоемкости процесса) с одновременным решением проблем качества получаемых продуктов может быть решена за счет создания комбинированных способов сушки [3–8].

Комплексный подход к созданию конкурентоспособных отечественных технологий и оборудования для сублимационного обезвоживания термолабильных продуктов заключается в использовании эффективных комбинированных средств энергоподвода к продуктам, имеющим различную структуру, интенсификации процесса, уменьшении удельных энергозатрат и, как следствие, снижении себестоимости продукции при достижении высоких качественных показателей [1].

Техническая идея внедряемых конструкторских разработок состоит также в повышении степени автоматизации оборудования участка замораживания и сушки, что позволит снизить время на простои, увеличить рентабельность продукции.

Совершенствование технологии и разработка оборудования должны базироваться на теоретических исследованиях закономерностей основных процессов, протекающих в аппаратах.

Одним из примеров сочетания способов сушки и улучшения тепло- и массопереноса является объединение процессов сублимационной и распылительной сушки в одном аппарате, что трудно осуществимо в производстве ввиду недостатков существующих распылительных сублимационных установок: низкой эксплуатационной надежности вакуумно-распылительного гранулятора из-за возможности блокировки замороженным продуктом обогреваемой форсунки.

Для устранения существующего недостатка, авторами предложена сублимационная распылительная сушилка для обезвоживания жидких продуктов, показанная на рис. 1. Установка состоит из сублимационной камеры 1 с патрубками 2 и 3 для подвода жидкого продукта и отвода водяных паров и неконденсирующихся газов, источников ИК-нагрева 4, шлюзового затвора 5 и гранулятора 6. На рис. 2. представлена схема вакуумно-распылительного гранулятора, выполненного в виде испарительной камеры 7 с перегородкой 8, включающей испарительную ванну 9 с нагревателями 10, фокусирующими насадок 11, насоса 12, механической форсунки 13.

Повышение эксплуатационной надежности вакуумно-распылительного гранулятора, представляющего собой испарительную камеру, в которой установлены подводный патрубок, имеющей фокусирующие насадки для подачи жидкого продукта, а также теплоподводящие элементы и шлюзовый затвор для выгрузки готового продукта в модернизированной установке, достигается за счет того, что гранулятор дополнительно снабжен испарительной ванной с нагревателями, к которой подключен насос, соединенный полыми патрубками с механической форсункой. При этом она расположена соосно отверстию в перегородке, а диаметр круга, полученного при пересечении конуса распыла механической форсунки с плоскостью перегородки меньше диаметра отверстия.

С учетом предлагаемой модернизации, сушилка работает следующим образом.

Жидкий продукт посредством патрубка 2 поступает в испарительную камеру 7 гранулятора 6, где интенсивно испаряется и с помощью фокусирующих насадок 11, препятствующих его разбрызгиванию, поступает в испарительную ванну 9 с нагревателями 10, где происходит частичная концентрация раствора за счет вакуум-выпаривания.

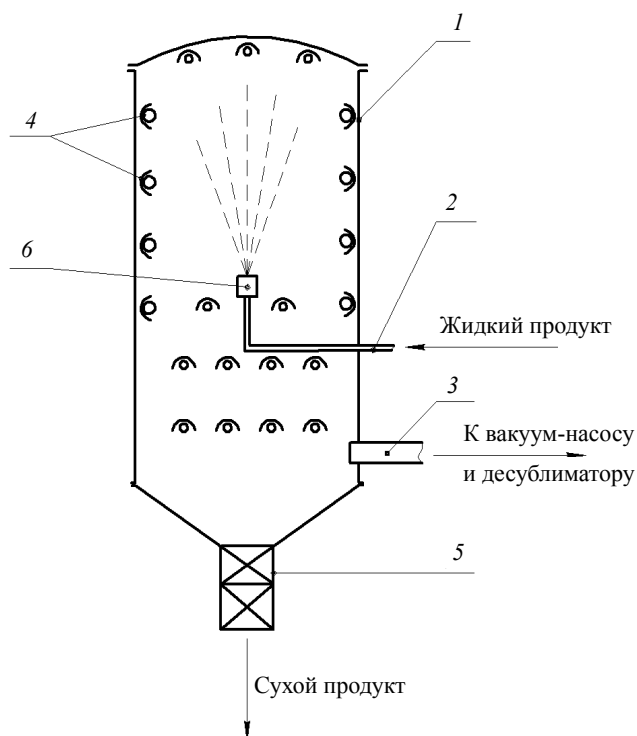


Рис. 1. Сублимационная распылительная сушилка для обезвоживания жидких продуктов

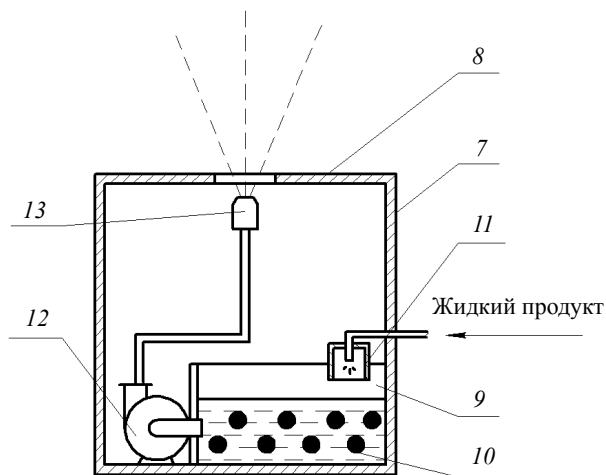


Рис. 2. Гранулятор

Далее продукт с помощью насоса 12 и механической форсунки 13 распыляется через отверстие в перегородке 8 в сублимационную камеру 1. Блокировки механической форсунки 13 не происходит, так как она расположена внутри испарительной камеры 7, где поддерживается давление выше давления тройной точки воды путем создания гидравлического сопротивления выходу паров посредством перегородки 8 отверстием.

Далее распыленный продукт самозамораживается в сублимационной камере 1 и сушится под действием источников ИК-нагрева 4. Высушенный продукт выгружается из сушилки с помощью шлюзового затвора 5.

Таким образом, предложенная конструкция позволяет повысить энергоэффективность процесса сушки жидких продуктов за счет эффекта самозамораживания и использования теплоты фазовых превращений как источника энергии для испарения влаги, а снабженный испарительной ванной гранулятор предотвращает блокировку обогреваемой форсунки замороженным продуктом, что значительно увеличивает эксплуатационную надежность распылительных вакуум-сублимационных сушилок.

Список литературы

1. Николаенко С. В. Энергетический анализ вакуум-сублимационной установки/С. В. Николаенко, В. В. Воронцов, М. Н. Шахова, С. В. Шахов, Д. А. Бляхман, Белозерцев А. С. // Вестник Международной академии холода. 2000. №4. С. 25–26.
2. Добромиров В. Е., Шахов С. В., Некрылова Т. И., Бокдаров С. А., Тарик Джухахра. Разработка вакуум-сублимационной сушилки для вспененных продуктов с использованием инертного газа // Вакуумная техника и технология. 2011, Т. 21. №2. С. 105–108.
3. Кретов И. Т., Шахов С. В., Николаенко С. В. Решение проблемы ввода жидкого продукта в вакуум в сублимационных сушилках непрерывного действия // Вестник Воронежской государственной технологической академии. 1997. №1. С. 100–105.
4. Антипов С. Т., Шахов С. В., Павлов И. О. Кинетика процесса вакуум-сублимационной сушки в непрерывном режиме // Вестник Международной академии холода. 1999. №1. С. 8–12.

5. Патент 2486419 (Российская Федерация), МКИ F26B9/06, F26B5/06 Многосекционная вакуум-сублимационная сушилка поточно-циклического действия С. Т. Антипов, Г. И. Мосолов, А. С. Шахов, Т. И. Некрылова, Тарик Джухахра, Р. А. Барыкин, В. Н. Санин — Заявл. 30.12.2011, 2011154705/06, опубл. 27.06.2013 Бюл. №18.

6. Патент 2006768 (Российская Федерация), МКИ F26B5/06 Устройство загрузки жидкого продукта в вакуум-сублимационную сушилку./С. В. Николаенко, С. Т. Антипов, С. Л. Нисилевич и С. В. Шахов.-Заявл. 19.04.91, №4928409/06, опубл. в Б. И., 1994, №2.

7. Патент 2008586 (Российская Федерация), МКИ F26B5/06 Способ сублимационной сушки жидких продуктов и сушилка для его осуществления./С. Т. Антипов, С. В. Николаенко, С. В. Шахов, Г. И. Мосолов. — Заявл. — 26.06.91, №4948987/06, опубл. в Б. И., 1994, №4.

8. Добромиров В. Е., Шахов С. В., Некрылова Т. И., Бокдаров С. А. Эксергетический анализ вакуум-сублимационной установки. // Вестник Международной академии холода. 2011. №4.

References

1. Nikolaenko S. V. Exergy analysis of vacuum-automation installation./S. V. Nikolaenko, V. V. Vorontsov, M. N. Shakhova, S. V. Shakhov, D. A. Blyakhman, Belozertsev A. S. *Vestnik Mezhduнародnoi akademii kholoda*. 2000. No 4. p. 25–26. (in Russian).
2. Dobromirov V. E., Shakhov S. V., Nekrylova T. I., Bokadarov S. A., Tarik Dzhuakhra. Development of the vacuum and sublimation dryer for the made foam products with use of inert gas. *Vakuumnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2011, Vol. 21. No 2. p. 105–108. (in Russian).
3. Kretov I. T., Shakhov S. V., Nikolaenko S. V. Solution of the problem of input of a liquid product in vacuum in sublimation dryers of the continuous action. *Vestnik Voronezhskoi gosudarstvennoi tekhnologicheskoi akademii*. 1997. No 1. p. 100–105. (in Russian).
4. Antipov S. T., Shakhov S. V., Pavlov I. O. Kinetics of the process of vacuum freeze-drying in continuous regime. *Vestnik Mezhduнародnoi akademii kholoda*. 1999. №1. p. 8–12. (in Russian).
5. Patent 2486419 (Russian Federation), MКИ F26B9/06, F26B5/06 *Multisection vacuum and sublimation dryer of continuous and cyclic action*. S. T. Antipov, G. I. Mosolov, A. S. Shakhov, T. I. Nekrylova, Tarik Dzhuakhra, R. A. Barykin, V. N. Sanin — Zayavl. 30.12.2011, 2011154705/06, opubl. 27.06.2013 Byul. №18. (in Russian).
6. Patent 2006768 (Russian Federation), MКИ F26B5/06 *The device of loading of a liquid product in the vacuum and sublimation dryer*. S. V. Nikolaenko, S. T. Antipov, S. L. Nisilevich i S. V. Shakhov.-Zayavl. 19.04.91, №4928409/06, opubl. v B. I., 1994, №2.
7. Patent 2008586 (Russian Federation), MКИ F26B5/06 *Method of sublimation drying of liquid products and the dryer for its implementation*. S. T. Antipov, S. V. Nikolaenko, S. V. Shakhov, G. I. Mosolov. — Zayavl. — 26.06.91, №4948987/06, opubl. v B. I., 1994, №4.
8. Dobromirov V. E., Shakhov S. V., Nekrylova T. I., Bokadarov S. A. Exergy analysis of a vacuum freeze drying unit. *Vestnik Mezhduнародnoi akademii kholoda*. 2011. No 4. P. 46–48. (in Russian).