

УДК 66.047.3

Аспирант Р.А. Барыкин, доцент В.В. Пойманов,
профессор С.В. Шахов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств,
тел. (473) 255-38-96

E-mail: v-poymanov@yandex.ru

Graduate R.A. Barykin, Associate Professor V.V. Poymanov,
Professor S.V. Shakhov

(Voronezh State University of Engineering Technologies) Department of machines and
apparatuses of food production, phone (473) 255-38-96

E-mail: v-poymanov@yandex.ru

Разработка вакуум-сублимационных сушилок с использованием термоэлектрических модулей

Development of vacuum sublimation dryers using thermoelectric modules

Реферат. Выявлены основные направления использования сублимированных продуктов и ингредиентов. Приведен анализ рынков сбыта сублимированных продуктов. Показано, что внедрение инновационных технологий производства позволит динамично развиваться не только крупным компаниям, но и мелким фирмам, что создаст предпосылки для роста российского рынка сублимированных продуктов. Проанализированы тенденции развития сублимационного сушильного оборудования. Обоснована актуальность разработки энергосберегающих вакуум-сублимационных сушилок. Комплексный подход к созданию конкурентоспособных отечественных технологий и оборудования для сублимационного обезвоживания термолабильных продуктов заключается в использовании эффективных комбинированных средств энергоподвода, интенсификации процесса, уменьшении удельных энергозатрат и, как следствие, снижении себестоимости продукции при достижении высоких качественных показателей. Приведены преимущества термоэлектрических модулей как альтернативного направления существующему парокompрессионному и абсорбционному холодильному оборудованию. Проведены исследования процесса вакуум-сублимационного обезвоживания с использованием термоэлектрических модулей. Научно подтверждено, что термоэлектрический модуль, работающий на эффекте Пельтье, способствует увеличению холодопроизводительности за счет использования принципа теплового насоса. Предложены варианты использования термоэлектрических модулей в конструкциях сушилок. Определены оптимальные режимы работы и количество модулей в секции. Указаны пути повышения энергетической эффективности вакуум-сублимационных сушилок с использованием термоэлектрических модулей. Полученные результаты позволяют производить инженерные расчеты и проектирование прогрессивных вакуум-сублимационных установок с различными способами энергоподвода.

Summary. The main directions of use of freeze-dried products and ingredients are revealed. The analysis of sales markets of freeze-dried products is provided. It is shown that introduction of innovative production technologies will allow to develop dynamically not only to the large companies, but also small firms that will create prerequisites for growth of the Russian market of freeze-dried products. Tendencies of development of the freeze-drying equipment are analysed. Relevance of development of energy saving freeze-dryers is proved. The integrated approach to creation of competitive domestic technologies and the equipment for sublimation dehydration of thermolabile products consists in use of the effective combined remedies of a power supply, a process intensification, reduction of specific energy consumption and, as a result, decrease in product cost at achievement of high quality indicators. Advantages of thermoelectric modules as alternative direction to existing vapor-compression and absorbing refrigerating appliances are given. Researches of process of freeze-drying dehydration with use of thermoelectric modules are conducted. It is scientifically confirmed, that the thermoelectric module working at Peltier effect, promotes increase in refrigerating capacity due to use of the principle of the thermal pump. Options of use of thermoelectric modules in designs of dryers are offered. Optimum operating modes and number of modules in section are defined. Ways of increase of power efficiency of freeze-dryers with use of thermoelectric modules are specified. The received results will allow to make engineering calculations and design of progressive freeze-drying installations with various ways of a power supply.

Ключевые слова: вакуум-сублимационная сушка, термоэлектрический модуль, эффект Пельтье

Keywords: freeze-drying, thermoelectric module, Peltier effect

Пищевые продукты и материалы, полученные с использованием технологии вакуум-сублимационного обезвоживания, занимают все большую долю на российском рынке. Это связано с тенденцией неуклонного роста потребления продуктов быстрого приготовления, к которым предъявляются высокие требования по качественным показателям.

Данная продукция используется также в других отраслях пищевой промышленности: при производстве йогуртов, мороженого, кондитерских изделий, конфет, фруктового чая, диетических продуктов и т.п.

© Барыкин Р.А., Пойманов В.В., Шахов С.В., 2014

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.

На данный момент на отечественном рынке производства сублимированных продуктов и ингредиентов представлено не больше десяти компаний.

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.

Среди отечественных производителей следует отметить волгоградский завод «Сублимированные продукты «Галакс». Эта быстро развивающаяся компания предлагает рынку качественную, конкурентоспособную продукцию. В настоящее время «Галакс» выпускает сублимированные ягоды (брусника, морошка, голубика, вороника и др.), овощные, молочные, мясные и другие сухие продукты и ингредиенты. Первоначально основным заказчиком продукции данной компании было Министерство обороны РФ, в настоящее же время «Галакс» выходит на потребительский рынок. Компания наладила производство каш быстрого приготовления под торговой маркой «Гала Гала сублимация».

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.

По сравнению с первыми образцами сила тока питания снижена на два-три порядка, на пять-шесть порядков уменьшены удельные энергозатраты полупроводниковых материалов. Современный термоэлектрический модуль представляет собой миниатюрное изделие с керамическими коммутационными платами, содержащими до 10 спаев на 1 мм², с термоэлементами высотой от 0,1 до 1 мм.

Являясь одним из наиболее перспективных направлений в создании экологически чистых охлаждающих устройств, термоэлектрическая техника все более и более завоевывает международный рынок, как альтернативное направление существующему парокомпрессионному и абсорбционному оборудованию. В Европе, США, Японии ежегодный прирост производства и сбыта термоэлектрических полупроводниковых устройств составляет более 10 % [2].

Термоэлектрические модули с успехом могут заменить существующие компрессорные бытовые и промышленные системы охлаждения, в том числе мобильные, использоваться для охлаждения тепловыделяющих плат в электронике и т.п.

Ведущее место в разработке и производстве термоэлектрических охладителей за рубежом занимают США. Фирмы «Melcor», «Marlow Industries Inc.» и ряд других компаний осуществляют массовый выпуск термоэлектрической продукции. Японской фирмой «Komatsu Electronics Inc.» создана технология автоматической сборки термоэлектрических микроохладителей с использованием роботов.

Среди отечественных производителей термоэлектрических модулей ведущее место занимает ИПФ «Криотерм», продукция которой соответствует мировым аналогам при более низкой стоимости.

В последние годы заметно снизилась стоимость термоэлектрической продукции. Этому способствовала стандартизация охлаждающих модулей, унификация их размеров и электрических параметров. Освоен массовый выпуск модулей размером 30×30 и 40×40 мм, а также стандартизованных термоэлектрических сборок общего назначения.

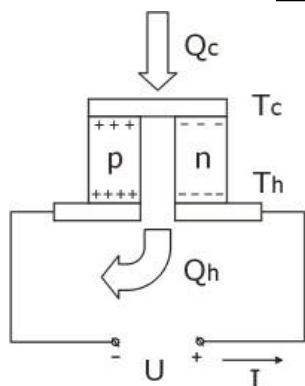


Рис. 1. Схема термоэлектрического модуля

Основными элементами термоэлектрических устройств являются термоэлектрический модуль (ТЭМ), работающий на эффекте Пельтье, и радиатор (теплообменник), способствующий увеличению холодопроизводительности за счет конструктивных решений отвода тепла (рис. 1). Элемент Пельтье, в свою очередь, работает как тепловой насос, так как при пропускании тока через ветви (спай двух металлов) тепловая энергия перетекает с одной пластины на другую, что приводит к появлению холодной и горячей сторон.

При изменении направления тока изменятся на противоположные холодные и горячие стороны. Принципиальным отличием новых термоэлектрических модулей от традиционных и широко известных ячеек Пельтье является то, что керамическая подложка заменена металлической, что в свою очередь позволило существенно поднять холодопроизводительность и сократить время выхода на требуемый режим.

Преимуществами термоэлектрических охлаждающих устройств являются: экологическая чистота, отсутствие хладагентов, среднее время наработки на отказ не менее 200 тыс. ч, независимость от ориентации в пространстве, бесшумность, широкие возможности миниатюризации, переход из режима охлаждения в режим нагрева и обратно за счет простого реверсирования тока [2].

Питание на термоэлектрические модули подавали при достижении давления в сублиматоре 40...50 Па. Для регистрации температуры продукта в поддоне размещали миниатюрные термодатчики с толщиной спаи 0,5 мм.

При включении питания термоэлектрических модулей их холодные спаи охлаждались до температуры -15...-20 °С (258...253 К). В первой секции энергия к продукту подводилась при помощи электрического нагревателя, в остальных секциях — при помощи термоэлектрических модулей, на горячих спаях которых выделялась

теплота, равная сумме холодопроизводительности и затраченной мощности.

В процессе сублимационной сушки на алюминиевом дне поддона десублимировалась влага, удаляемая из продукта. В каждой секции сушилки намораживалось до 2...3 мм льда. При достижении температуры продукта 35...40 °С (308...313 К) процесс сублимационной сушки прекращали [3]. Однако питание термоэлектрических модулей не выключали во избежание попадания влаги в продукт. Сначала девакуумировали сублиматор, выгружали дрожжи, и только после этого переключали питание термоэлектрических элементов с целью удаления льда. При этом на «холодных спаях» выделялась теплота, которая подплавляла слой льда и он легко удалялся с полированной поверхности алюминия. Таким образом, термоэлектрические модули обеспечивают не только экономию энергии, но и упрощают процесс удаления замороженного льда. Кроме этого, достоинством ТЭМ является то, что они обеспечивают практически мгновенное охлаждение алюминиевого дна поддона. Этот факт является очень важным, так как не требуется предварительного охлаждения вакуумной камеры (сублиматора).

Вакуум-сублимационную сушку проводили при различном напряжении питания элементов, а также различном количестве элементов в секции.

К недостаткам термоэлектрических модулей следует отнести то, что они имеют низкую холодопроизводительность, поэтому для обеспечения нормального процесса сушки необходимо устанавливать до 8...10 термоэлементов в каждой секции (рис. 2).

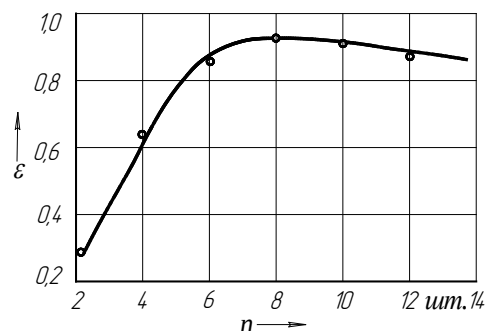


Рис. 2. Зависимость холодильного коэффициента от количества модулей в секции вакуум-сублимационной сушилки

Что касается непосредственно сушилки, то требуется достаточно времени на то, чтобы установить секции. Поэтому возможно частичное подтаивание продукта во время установки продукта.

Целью проведения эксперимента являлось определение оптимальных режимов сушки, а также нахождение оптимальных параметров питания термоэлектрических модулей (рис. 3).

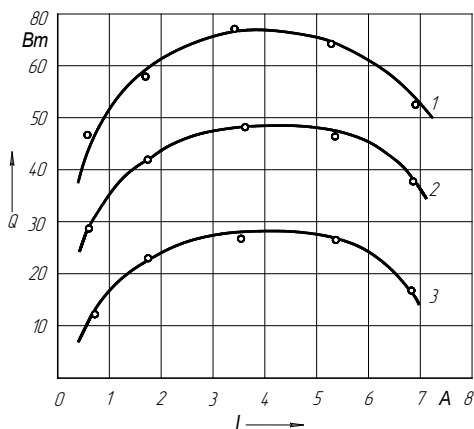


Рис. 3. Зависимость холодопроизводительности модулей от силы тока и разности температур на спаях: 1 – $\Delta T=20$ К; 2 – $\Delta T=45$ К; 3 – $\Delta T=85$ К

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пойманов В.В., Воробьев Д.В. Исследование свойств и разработка оборудования для вакуум-сублимационной сушки инулина // Вестник ВГТА. 2009. № 1. С. 85-88.
- 2 Пойманов В.В. Исследование процесса вакуум-сублимационной сушки пивных дрожжей с использованием термоэлектрических элементов: дисс... канд. техн. наук: 05.18.12: защищена 19.10.2006; утв. 12.03.2007. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2006. 180 с.
- 3 Пат. № 2395768, RU, F 26 В 5/06, F 26 В 9/06. Вакуум-сублимационная сушилка / С.Т. Антипов, В.В. Пойманов, Д.В. Воробьев. № 2009129715/06; Заявл. 03.08.2009; Опубл. 27.07.2010, Бюлл. № 21.

В нашем случае перепад температур на спаях для достижения требуемых показателей продукта необходимо поддерживать на уровне 75...80 К при силе тока питания 4 А [2].

Экономичность термоэлемента, а также максимальное снижение температуры на спаях зависят от эффективности (добротности) полупроводникового вещества z , в которую входят удельная электропроводность σ , коэффициент термоЭДС α и удельная теплопроводность λ . Эти величины взаимосвязаны, так как зависят от концентрации свободных электронов или дырок.

REFERENCES

- 1 Poymanov V.V., Vorobyov D.V. Research of properties and development of the equipment for freeze-drying of inulin. *Vestnik VGTA*. [Bulletin of VSTA], 2009, no. 1, pp. 85-88. (In Russ.).
- 2 Poymanov V.V. [Research of freeze-drying process of beer yeast with use of thermoelectric elements. Candidate of Technical Sciences Diss.]. Voronezh State Technological Acad., 2006. 180 p. (In Russ.).
- 3 Antipov S.T., Poymanov V.V., Vorobyov D.V. Vakuum-sublacionnaya suchilka [Freeze-dryer]. Patent RF, no. 2395768, 2010.