

23. Герасименко А.А., Куценов Д.А. Совместное применение детерминированного и статистического алгоритмов для определения потерь электроэнергии в распределительных сетях // Энергосистема: управление, качество, конкуренция: сб. докл. II Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2004. – С. 128–132.
24. Герасименко А.А., Тихонович А.В., Шульгин И.В. Комбинированный подход к определению потерь электроэнергии в распределительных сетях // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: тр. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2007. – Ч.1. – С. 80–84.
25. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Нормирование технологических потерь электроэнергии в сетях – новая методология расчёта // Новости электротехники. – 2003. – № 5. – С. 23–27.
26. Железко Ю.С. Недоучёт электроэнергии, допустимые небалансы и их отражение в нормативах потерь // Электрические станции. – 2003. – № 11.
27. Об учёте электроэнергии при её производстве, передаче и распределении / К.А. Гамбурян, Л.В. Егуазян, В.И. Сааков [и др.] // Электрические станции. – 2001. – № 8. – С. 24–28.



УДК 631.365.29 (571.54)

Е.И. Горобцов

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ ПЛОДОВ И ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ- И УЗ-ИЗЛУЧЕНИЙ

В статье в полной мере представлен и раскрыт вопрос о разработке энергосберегающей технологии сублимационной сушки плодов и плодовых культур с использованием СВЧ- и УЗ- излучений, также затрагиваются вопросы о других способах сушки и их эффективности. Наглядно представлена усовершенствованная технология сублимационной сушки плодов без операции бланширования, приводится подробное описание установки, прилагаются соответствующие чертежи.

Ключевые слова: энергосберегающая технология, плодовые культуры, сублимационная сушка, СВЧ-излучение, УЗ-излучение.

E.I. Gorobtsov

THE DEVELOPMENT OF ENERGY SAVING TECHNOLOGY FOR THE FRUIT AND FRUIT CROP SUBLIMATION DRYING USING MICROWAVE AND ULTRASONIC RADIATION

The development issue of the energy saving technology for the fruit and fruit crop sublimation drying with the use of the microwave and ultrasonic radiation is fully presented and revealed, the issues of other drying ways and their efficiency are also raised. The advanced fruit sublimation drying technology without scalding operation is visually presented, the detailed description of installation is provided, the corresponding drawings are attached.

Key words: energy saving technology, fruit crops, sublimation drying, microwave radiation, ultrasonic radiation.

Актуальность статьи. В развитых странах мира вопросы здорового питания имеют ранг государственной политики и успешно реализуются. В России также принята "Концепция государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации". Обеспечить ее выполнение можно совершенствуя технологии получения продуктов, в том числе и длительного хранения, сохраняющих максимум питательных веществ, заложенных природой. Поэтому работы по созданию и совершенствованию машин и технологий для производства продуктов длительного хранения постоянно актуальны [1–8].

Одним из надежных методов консервирования пищевых продуктов является сушка. Производство сушеных плодов и ягод является важным путем удовлетворения потребностей различных отраслей пищевой промышленности, в том числе и садоводческой, и населения в этих продуктах, содержащих в концентрированном виде наиболее питательные и биологически активные вещества (БАВ).

В настоящее время в мировой практике и в России используются разные способы сушки растительного сырья: конвективный, сублимационный, СВЧ-сушка, кондуктивный, инфракрасный (ИК), каждый из них имеет как свои достоинства, так и существенные недостатки. Основной классификацией сушилок является их разделение по конструктивным признакам на барабанные, коридорные (туннельные), ленточные, шахт-

ные, распылительные, камерные и др. Почти каждая из них может изготавливаться в различных вариантах по направлению потоков: противоточные, поточные и с перекрестными токами; по устройству естественной или искусственной циркуляции сушильного агента; по организации сушильного процесса (нормальный, с подогревом внутри камеры сушки, с промежуточным подогревом, с возвратом отработанного воздуха и др.); по давлению в сушильной камере (атмосферные, вакуумные, глубоковакуумные); по роду сушильного агента (воздух, топочные газы, перегретый пар); по агрегатному состоянию высушиваемого продукта (твердое, жидкое, пастообразное, пенообразное); по способу подвода теплоты (кондуктивные, радиационные, конвективные, высокочастотные); по режиму работы (периодического действия или непрерывные).

Среди продуктов питания, обладающих защитными функциями, превалирующее значение имеют плоды, ягоды, овощи и их соки. По данным Всемирной организации здравоохранения, содержание в ежедневном рационе 700...800 г плодов и овощей позволит сократить риск возникновения онкологических, сердечно-сосудистых и некоторых возрастных заболеваний почти на 50 %. Но ярко выраженная сезонность сельскохозяйственного производства овощного и плодово-ягодного сырья, сложность сохранения высоких биологических свойств без специального оборудования не позволяют его использовать на протяжении всего года. Удаление влаги из растительного сырья путем сушки до влажности 8...8,5 % предоставит возможность его длительного хранения в обычных условиях.

Существенный недостаток обычных методов сушки – неравномерная усадка (большая на поверхности и меньшая внутри материала), ведущая к непропорциональному изменению формы материала и даже к разрушению. По сравнению с другими методами сушки сублимация дает равномерную усадку, поэтому материал имеет более пористую, быстро восстанавливающуюся структуру – в течение 5...15 мин в зависимости от вида сырья.

К основным преимуществам метода сублимационной сушки, делающим его промышленное применение весьма перспективным, относятся следующие:

- минимальные биологические и физико-химические изменения в продукте, связанные с обработкой при низких температурах;
- снижение массы продуктов за счет уменьшения конечной влажности;
- значительное увеличение сроков хранения сублимированных продуктов при положительных температурах;
- упрощение реализации продуктов в торговой сети в связи с ненадобностью холодильных установок.

Перспективы развития сублимационной техники связаны с переходом к установкам непрерывного действия с повышением эффективности сублимационного оборудования за счет интенсификации процесса обезвоживания.

Микроволновая технология – серьезное достижение науки и техники, продукт десятилетних исследований ученых-аграриев и военно-промышленного комплекса, не имеющий аналогов в мировой практике. С помощью микроволнового оборудования действительно можно решать актуальные задачи многих производств, сушки зерна, фруктов, овощей, лесоматериалов и т.д.

Микроволновая технология и созданное на ее основе микроволновое оборудование для сушки фруктов и овощей позволяют не только высушивать продукцию, но и получать пищевые красители, размораживать рыбу, мясо, овощи, ягоды и другие продукты питания, проводить бестемпературное консервирование и многое другое.

С начала 90-х годов прошлого столетия резко возросло применение одного из методов термообработки сельскохозяйственного сырья – инфракрасного облучения. При этом используемый метод термообработки сырья должен отвечать определенным требованиям: снижение потерь питательных веществ до минимального уровня; частичное удаление вредных веществ; получение конечного продукта, который обладает высокими пищевыми и вкусовыми свойствами; повышение усвояемости наиболее ценных питательных веществ; хорошие восстановительные свойства.

В 2001 году Правительством Российской Федерации была принята Федеральная целевая программа газификации, и в связи со сложившейся ценовой обстановкой на энергоресурсы все больше находят свое применение газовые инфракрасные излучатели. Широко и повсеместно начинают применяться газовые инфракрасные излучатели при производстве продуктов быстрого питания, в отдельных отраслях пищевой промышленности. На основании изучения научно-производственной информации установлено, что для сушки различной сельскохозяйственной продукции, в частности садоводческой, необходимы различные условия их термообработки. Эффективного воздействия на продукт при применении газовых инфракрасных излучателей можно добиться различными путями, в том числе: изменением высоты между облучающей и облучаемой поверхностями, мощности инфракрасного облучения, конструкции инфракрасного излучателя. Существующие технологии и технические средства сушки растительного сырья, в частности садоводческого сырья, в том числе с использованием ИК-излучения, не обеспечивают получение полноценных продуктов, так

как не отвечают условию регулирования технологических параметров процесса в зависимости от степени измельчения сырья, удельной энергии, подводимой к сырью, и продолжительности ИК-облучения [9–16].

Анализ современного состояния сырьевой базы консервной промышленности, в частности садоводческой продукции, показывает, что насаждения плодово-ягодных культур в среднем с 1970 по 2010 год сократились в 1,5–2,2 раза, хотя при этом валовой сбор плодов и ягод увеличился в 1,6 раза, а винограда сократился в 1,9 раза. При этом 74,6% от всего валового сбора плодов и винограда приходится на хозяйства населения. Поэтому в связи со сложившейся рыночной обстановкой необходимо развивать современную энергоэкономичную и доступную по стоимости самого оборудование малую и среднюю переработку продукции садоводства в хозяйствах населения и садовых товариществах. Одним из таких способов переработки, отвечающих согласованным условиям, может стать производство сухофруктов непосредственно в самих хозяйствах населения и садовых товариществах, так как производство сухофруктов является одним из наиболее экономичных способов переработки сырья. Так как затраты на конвективную сушку более чем в два раза ниже затрат на консервирование 1 т плодов. Сушеные семечковые (яблоко, груша и др.), косточковые (вишня, слива и др.) плоды, ягоды (смородина, земляника и др.) богаты необходимыми для нормальной жизнедеятельности организма человека легкоусвояемыми сахарами (сахароза, глюкоза, фруктоза), органическими кислотами (яблочная, лимонная, щавелевая и янтарная), витаминами (В1, В2, РР, С), Р-активными, пектиновыми и минеральными (Na, K, Ca, Fe, Mg) веществами. Содержание питательных веществ в наиболее концентрированном виде обуславливает их высокую калорийность: 1 кг сушеных плодов дает более 2400 кал.

В результате проведенного анализа выявлено, что наиболее перспективной технологией сушки плодово-ягодных культур является сушильная установка на базе газового ИК-излучателя. Изучены физико-механические свойства плодов и ягод, выращенных в средней полосе РФ под воздействием инфракрасных лучей.

Работа сушилки. На рисунке 1 представлена усовершенствованная технология сублимационной сушилки мелкокусковых плодов без операции бланширования.

Вакуумное самозамораживание. Нарезанный плодовоовощной материал загружается через лоток (17) в барабанную сортировку (16), которая находится внутри вакуум-сублимационной камеры (1). Дверь камеры (10) герметично закрывается и включается откачка воздуха с помощью вакуумного насоса (3). Давление в камере в течение 10...15 мин опускается и стабилизируется около 30 Па, в это время начинается сортировка кубиков. Продукт при этом самозамораживается за счет того, что расходует внутреннюю энергию на испарение влаги с поверхности кубиков.

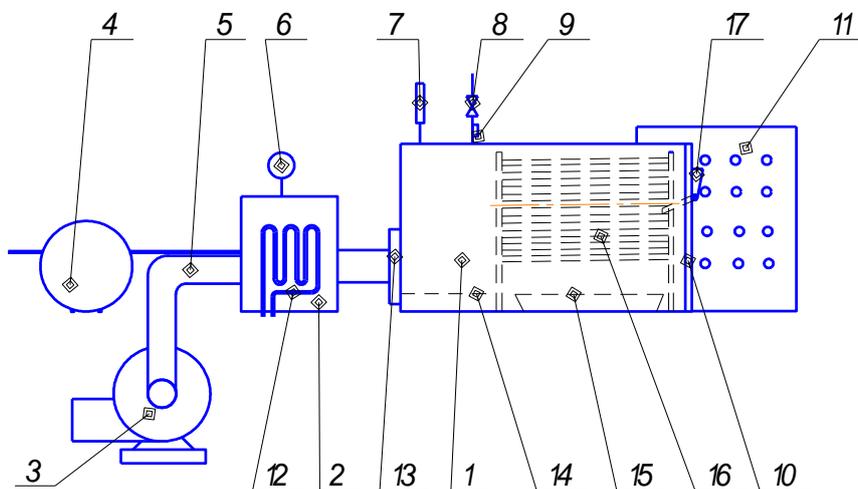


Рис. 1. Компонентная схема лабораторной вакуумной установки: 1 – камера вакуум-сублимационная; 2 – десублиматор; 3 – насос вакуумный; 4 – машина холодильная; 5 – трубопровод вакуумный; 6 – вакуумметр; 7 – термометр; 8 – напекатель воздуха; 9 – датчик ПМТ-6; 10 – дверь камеры; 11 – панель управления; 12 – испаритель холодильной машины; 13 – СВЧ-генератор; 14 – лоток с УЗ-излучателем для стандартных кубиков; 15 – лоток для обрезей; 16 – барабанная сортировка; 17 – лоток загрузочный

Сублимационная сушка. Прошедшие сортировку стандартные кубики падают на лоток с УЗИ-источником (14). Далее включается СВЧ-нагрев (13), давление в камере увеличивается и устанавливается около 60...70 Па. При этом в камере идет сублимационная сушка. Через определенный промежуток времени, который зависит от массы заложенного на сушку продукта и мощности СВЧ-излучения, давление в камере начинает падать, по чему можно определить, что сублимация свободной влаги закончилась. Прекращается СВЧ-нагрев и включается натекатель рабочего газа (8) температурой в пределах от +10°C до +40°C, за счет чего давление в камере увеличивается до 100 Па.

Удаление остаточной влаги в продукте осуществляется конвективно-звуко-вакуумным способом. Через какое-то время давление плавно начинает опускаться и устанавливается в пределах около 30 Па. Это означает, что процесс сушки закончен. Отключается УЗИ, вакуумная система и идет наполнение камеры воздухом. При достижении давления в камере пределов атмосферного дверь открывается и лоток с сублимированным продуктом вынимается для исследований.

Описание установки. Установка состоит из сушильной камеры цилиндрической формы с источниками СВЧ- и УЗИ-полей. В верхней части сушильной камеры расположены резательная машина (25) для измельчения фруктов и овощей и сортировка барабанного типа (22). В камере имеется собственный десублиматор (1), а также через шиберный затвор к установке подключен вакуумный насос (14). В нижней части через вакуумный затвор (11) сушильная камера соединена с выгрузным шнеком (15). Плоды подаются в резательную машину и измельчаются. Режим подачи плодов контролируется и управляется субблоком управления системы измельчения (СУСИ). Кубики плодов в процессе сортировки охлаждаются и замерзают за счет интенсивного испарения влаги в вакууме. Далее самозамороженные кусочки с подсохшим верхним слоем летят вниз – в сушильную камеру. Агент сушки (инертный газ, воздух) на стадии удаления остаточной влаги подается в нижнюю часть сушильной камеры из баллона через термостат (13). Расход газа регулируется натекателем по сигналам субблока управления вакуумным агрегатом (СУАВ) (рис. 2).

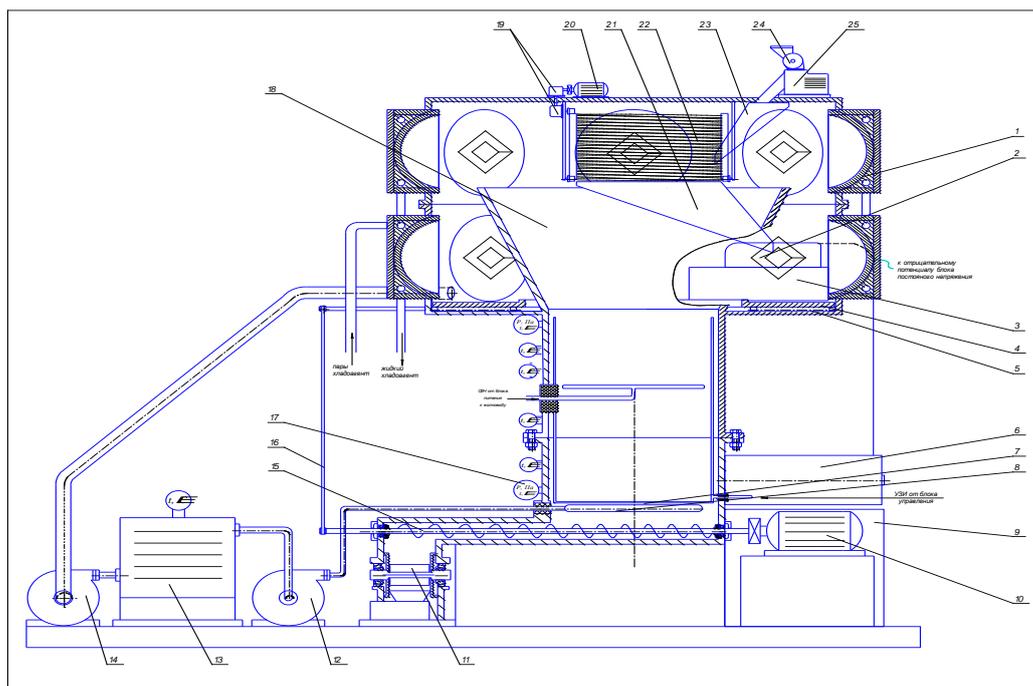


Рис. 2. Принципиальная схема установки сублимационной сушки мелкокусковых растительных материалов типа УСС-НД-КЭ-И непрерывного действия с комбинированным энергоподводом:
 1 – охлаждаемый элемент десублиматора; 2 – окно для выгрузки льда; 3 – дека для съема льда с конвейера; 4 – конвейер карусельного типа для перемещения льда; 5 – ролик; 6, 11, 24 – вакуумные затворы; 7 – УЗ-излучатель; 8 – напуск агента сушки; 9 – бункер-плавитель льда; 10 – привод шнека и конвейера; 12 – насос подачи агента сушки; 13 – термостат; 14 – вакуумный насос; 15 – шнек выгрузки готового продукта; 16 – ременная передача; 17 – датчик давления и температуры; 18 – собирающая воронка; 19 – редуктор конический; 20 – привод сортировки; 21 – лоток обрезей; 22 – сортировка барабанная; 23 – лоток загрузочный; 25 – резательная машина

Выводы. Сублимационная сушильная установка с использованием СВЧ- и УЗ-излучения является наиболее перспективной технологией сушки плодово-ягодных культур.

Литература

1. Метод измерения терморadiационных характеристик пищевых продуктов в процессе ИК-облучения полусферическим интегральным способом / *И.С. Агеевко, С.Г. Ильясов, В.В. Красников [и др.]* // Инженерно-физический журнал. – 1984. – Т. 46. – № 6. – С. 952–959.
2. *Бурич О., Берки Ф.* Сушка плодов и овощей: пер. с венг. – М., 1978. – 280 с.
3. *Икрамов А.И.* Исследование процесса сушки винограда: автореф. дис. ... канд. техн. наук. –Ташкент, 1971. – 20 с.
4. *Ильинский А.С., Дидык Н.Н.* Моделирование системы вентиляции в камерах для хранения фруктов // Совершенствование способов охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции: сб. ст. – Краснодар, 1992. – С.34–35.
5. *Ильинский А.С.* Совершенствование технологий и технических средств для хранения яблок в регулируемой атмосфере: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Саратов, 2002. – 42 с.
6. *Ильинский А.С.* Твердость фруктов и методические основы ее измерения с помощью пенетрометра // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 7. – С. 50–51.
7. *Ильясов С.Г., Красников В.В.* Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. – М.: Пищ. пром-сть, 1978. – 359 с.
8. *Ильясов С.Г., Ангерсбах А.К.* Закономерности тепло- и массопереноса при ИК-облучении яблок и айвы // Пищевая и перерабатывающая промышленность. – 1987. – № 6. – С. 26–28.
9. *Ильясов С.Г., Красников В.В.* Методы определения оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов. – М.: Пищ. пром-сть, 1972. – 175 с.
10. *Ильясов С.Г.* Теоретические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МТИПП, 1977. – 435 с.
11. *Красников В.В.* Современные направления пищевой инженерии // Пищевая и перерабатывающая промышленность. – 1985. – № 1. – С.35–38.
12. *Красников В.В., Панин А.С., Сверчак В.Д.* Метод комплексного определения теплофизических характеристик вязких, жидких, пастообразных и мелкодисперсных материалов // Известия вузов СССР. Пищевая технология. – 1976. – № 2. – С. 138.
13. *Красников В.В., Азарскова А.В.* Применение теории химической кинетики к разупрочнению зерна при его термовлажностной обработке // Вестн. РАСХН. – 1995. – № 3. – С. 32.
14. *Ломачинский В.А.* Задачи по совершенствованию техники и технологии производства сухофруктов // Пищевая и перерабатывающая промышленность. – 1985. – № 10. – С. 46–48.
15. *Рогов И.А., Ляховский Б.М., Жуков Н.Н.* Газовые горелки инфракрасного излучения и их применение в мясной промышленности // Мясная промышленность. – 1974. – № 2.
16. *Шлягун Г.В., Николаева Д.А.* Современный технический уровень и тенденции развития техники и технологии сушки фруктов и овощей // Консервная, овощесушильная и пищекокцентратная пром-сть: обзор. информ. АгроНИИТЭИПП. – 1987. – Вып. 2. – 28 с.

