



13. Эльсхоф Х. Производство кормов для рыб и домашних животных / Х. Эльсхоф // Комбикорма. – 2007. – № 3. – С. 29-30.
14. Кабушка В.Г. Переработка отходов животного происхождения на основе технологии сухой экструзии / Хранение и переработка зерна // № 9. – (75). – 2005. – С.48-50.
15. Кадыров А. Экструзионная переработка биологических отходов в корма / Д. Кадыров, А. Гарзанов // «Птицеводство». – №7. – 2008. – С.15-18.
16. Єгоров Б.В. Перспективи використання малоцінної риби у кормовиробництві / Б.В. Єгоров, А.П. Левицький, Л.В. Фігурська / Зернові продукти і комбікорми. – 2011. – №1. – С. 39-42.
17. Пат. на корисну модель 62971 Україна, МПК А 23К 1/00. Спосіб виробництва кормової добавки / Єгоров Б.В., Фігурська Л.В.; заявник і патентовласник Одеська національна академія харчових технологій. – № u201101644; заявл. 14.02.2011; опубл. 26.09.11, Бюл.№18.
18. Breaking the 1.5 mm barrier // FEED INTERNATIONAL JULY, 1999, P. 26-29.
19. Domini S. Extruded crumble fish feeds / S. Domini // Feed international. – July. – 2000. – P. 26–27.
20. Simple shrimp feed extrusion / Feed international. – March. – 2002. – P. 28–30.
21. Влияние экспериментальных рыбных кормов производства Гатчинского ККЗ на физиологию форели. – 2008. Комбикорма № 1. – С. 55-56.
22. Афанасьев В.А. Система технологических процессов комбикормового производства. В.А. Афанасьев, А.И. Орлов – Воронеж, ВГУ, 2002. – 108 с.
23. Афанасьев В.А. Системный анализ технологических процессов комбикормового производства. – Воронеж ВГУ, 1999. – 112 с.

Надійшла 02.2012

Адреса для переписки:

вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039



УДК 663.1:66.047.3.085

О.Г. БУРДО, д-р техн. наук, профессор,
И.И. ЯРОВОЙ, аспирант, Н.В. РУЖИЦКАЯ, аспирант, А.А. БОРИЩ, аспирант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

Формулируется научно-техническая идея совершенствования сушильного оборудования. Обосновывается эффективность использования микроволнового подвода энергии в процессе сушки. Обсуждается схема экспериментального стенда, который укомплектован системой компьютерного сбора и обработки результатов исследований процесса сушки. Приведены результаты экспериментального моделирования сушки в электромагнитном поле. Представлена структура и технические характеристики разработанной ленточной сушилки с электромагнитным подводом энергии.

Ключевые слова: сушка, микроволновой и инфракрасный подвод энергии, ленточная сушильная установка.

A scientific and technical idea of improving the drying equipment is formulated. The effectiveness of using the microwave energy input during the drying process is substantiated. The experimental scheme of the stand, equipped with a computer system for collecting and processing the results of the drying process studies is discussed. The results of experimental modeling of drying under electromagnetic field action are given. The structure and technical specifications of the developed belt drier with electromagnetic energy input are presented.

Keywords: drying, microwave and infrared energy supply, belt drier.

Введение. Традиционно в пищевой и перерабатывающей промышленности широко используются технологии конвективной сушки, реализованные в разнообразных по конструкции сушилках: шахтных, ленточных, барабанных, в которых передача теплоты к сырью реализуется при помощи сушильного агента, через внешнюю оболочку продукта к внутренним слоям. Подробный анализ наиболее распространенных технологий конвективной сушки [1] показывает, что сушильное оборудование по энергоемкости, экологическим регламентациям, безопасности зернового продукта не отвечает современным требованиям. Традиционные подходы в технологиях сушки столкнулись с непреодолимым противоречием. С одной стороны, для интенсификации процессов тепло-массопереноса требуется увеличивать скорость (т.е. расход) сушильного агента. С другой стороны, чем больше расход теплоносителя, тем больше теряется тепловой энергии с выбросами установки. Представляется, что выход для решения обозначенного противоречия связан с изменением принципов подвода энергии к зерну. Новая техническая идея, которая защищается в этой работе, основывается на 2 поло-

жениях [2]. Во-первых, следует снять с воздуха задачи теплоносителя, а оставить только задачи диффузионной среды, среды, которая обеспечивает эффективный «прием» влаги из продукта. Во-вторых, организовать объемный подвод энергии к продукту. Реализация первого положения позволит существенно сократить потери теплоты с отработавшим воздухом, а второго – серьезно сократить время процесса.

Обоснование принципа энергетического воздействия. Перспективным способом при организации процесса сушки является технология микроволновой (МВ) обработки сырья, имеющая целый ряд важных отличий от традиционных методов обезвоживания. МВ нагрев обеспечивает подвод энергии во всем объеме материала а температурой нагрева легко управлять. Интенсивность нагрева не зависит от агрегатного состояния материала - только от его диэлектрических свойств и напряженности МВ – поля создаваемого излучателем.

Микроволновый метод нагрева основан на воздействии на обезвоживаемый продукт интенсивного электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ). Источником энергии СВЧ генераторов явля-



ется только электроэнергия, что обеспечивает их исключительную экологическую чистоту. Применение МВ нагрева основано на сложном физическом эффекте возникающем при воздействии СВЧ излучения на молекулы воды (в т.ч. и влаги связанной в материале), который для краткости называют «молекулярным трением». В результате такого взаимодействия влага в материале становится источником выделения тепловой энергии, в результате которого частички материала нагреваются «изнутри», а уж в результате повышения температуры в слоях частичек материала возникает градиент влагосодержания, и как следствие движение влаги к поверхности частиц, где она и удаляется вследствие испарения. Причем при снижении влажности сырья процесс сушки продукта не замедляется и на заключительных этапах сушки, МВ - технологии по эффективности и производительности в разы превосходят традиционные конвективные технологии. Микроволновая сушка трав, чая, специй, грибов, фруктов, круп, овощей, рыбы и мяса, характеризуется высокой эффективностью, малым временем обработки и относительно низкой температурой процесса, что применительно к пищевым продуктам обуславливает очень высокую сохранность полезных веществ и витаминов.

Современная пищевая промышленность достаточно быстро осваивает микроволновые технологии, в данной области работает уже достаточно большое количество научно – производственных и инновационных предприятий. Сразу несколько молодых компаний восточноазиатского региона активно развивают рынок микроволнового оборудования, предлагая решения для внедрения в самых различных областях применения. Некоторые примеры компании Jinan Adasen Trade Co., Ltd. (Shandong, China (Mainland) [3] и «Zhangjiagang Jiahao Technology Co., Ltd.» (Jiangsu, China (Mainland) [4] приведены ниже (табл.1).

Принципиальная схема установки. Использование микроволнового воздействия на пищевые продукты и сырье с целью интенсификации технологических процессов является одним из направлений научно исследовательской работы кафедры процессов, аппаратов и энергетического менеджмента Одесской национальной академии пищевых технологий, а разработка усовершенствованных вариантов сушильных установок для растительного сырья традиционные приоритеты в научных исследованиях кафедры. Одной из текущих задач решаемых научным коллективом кафедры является разработка экспериментальной модели ленточной сушилки использующей комбинированный СВЧ и ИК нагрев для сушки и сопутствующего обеззараживания растительного сырья. На первых этапах проведенного исследования решалась задача определения потенциала доступных для использования микроволновых излучателей в качестве источников микроволновой энергии в реальных промышленных сушильных установках. Предполагается, что используемые в бытовых микроволновых печах СВЧ генераторы – магнетроны мощностью 500 – 800 Вт. имеют достаточный потенциал для создания на их базе промышленных устано-

вок малой мощности при условии использования модульной конструкции таких установок.

Схема экспериментального стенда. Для проведения комплексных исследований был создан стенд, состоящий из микроволновой камеры с магнетроном мощностью 800 Вт и лабораторных весов. В качестве растительного сырья исследовалось зерно пшеницы, размещенное плотным слоем, на подвесе весов в центре микроволновой камеры. Экспериментальная часть исследований включала серию опытов с различными нагрузками (весом зерна) и различной мощностью МВ излучения подводимого к камере. Результаты измерения веса и температуры слоя фиксировались программно – аппаратным комплексом стенда. Общий вид стенда приведен на фото (рис.1).

В непрерывном режиме компьютер обрабатывал информацию, которая поступала с весов и от термодатчиков, и выводил на монитор линии трендов массы продукта, линии сушки и скорости сушки продукта, температуры продукта, воздуха в камере, сухого и влажного термометров на выходе воздуха из камеры. Типичный пример регистрации параметров на мониторе приведен на рис. 2.

В ходе серии экспериментов изучались зависимости скорости обезвоживания сырья от величины нагрузки в камере микроволнового нагрева и от мощности излучения.

На рис. 3...5 приведены графики линий сушки при различных величинах нагрузки камеры и максимальной мощности излучателя.

При различной, но постоянной в каждой серии опытов мощности микроволнового излучения, изменялась удельная масса зерна в пределах $G=1.32-5.26$ кг/м². Данные о влагосодержании зерна регистрировались по показаниям электронных весов по балансу массы. По полученным в результате серии данным определены зависимости изменения влагосодержания зерна при неизменной мощности микроволнового излучения (рис. 3). При меньших мощностях динамика процесса пропорционально снижается.

Анализируя полученные зависимости можно определить, что на линиях сушки присутствует начальный участок соответствующий прогреву слоя материала, величина которого изменяется от 0,5 до 2,5 мин. длительность участка зависит от величины нагрузки. После участка прогрева влагосодержание зернового слоя изменяется практически линейно. Время сушки для наибольшей нагрузки составило около 7 минут.

Не менее показательными в плане демонстрации потенциала микроволновых технологий нагрева являются термограммы процесса нагрева. В ходе каждого из серии проведенных экспериментов, одновременно с изменением массы (влагоудалением) регистрировалась температура зернового слоя. По полученным данным построены термограммы зернового слоя в процессе его обработки. На рис.4 приведены термограммы для наибольшей нагрузки ($G=5.26$ кг/м²).

Полученные температурные кривые отражают динамику процесса нагрева слоя характерную для всех теплообменных процессов. Максимальная тем-



Таблица 1

Примеры использования микроволновой техники в оборудовании пищевых производств

	ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛЬ JN-60HPTN8 потребляемая мощность: 96 KVA; выходная мощность: 60 KW. Использование: сушка и стерилизация порошковой, зернистой и гелеподобной еды, специй, травяного фармацевтического сырья, лапши, порошка риса, продуктов сои, сублимированного мяса, рыбы, чая, табака, миндаля, каштана, картофельной стружки, чипсов.
	МОДЕЛЬ WB-50 потребляемая мощность: 60 KVA выходная мощность 50 KW. Длина тефлоновой транспортной ленты 900*19000 mm Размеры входного шлюза 1000*1040*50 mm Скорость конвейера 0-6m/min Для тепловой обработки гранулированных и порошкообразных материалов. Мощность микроволновых излучателей регулируется дискретно: 10, 15, 18, 20, 25, 30, 50, 60 KW.



Рис. 1. Стенд для исследования кинетики обезвоживания в электромагнитном поле.



Рис. 2. Вид программной оболочки для регистрации измерений.



пература слоя для наибольшей нагрузки $G=5.26 \text{ кг/м}^2$ составила 55°C , параметр достиг данного значения через 2,5 мин. после начала нагрева при полной мощности магнетрона. С уменьшением нагрузки микроволновой камеры скорость нагрева слоя увеличивается и при нагрузке в $G=1.32 \text{ кг/м}^2$ температура 80°C достигается уже на 1-й минуте а при времени 1,5 мин. температура слоя превышает значение в 100°C .

По результатам экспериментов построены зависимости скорости сушки от мощности микроволнового излучения в камере нагрева. Мощность изменялась штатными средствами печи, магнетрон работал в импульсном режиме. Градации шкалы изменения мощности на графике соответствуют значениям потребляемой магнетроном электрической мощности. На рис.4 приведены зависимости для наибольшей мощности излучателя $N_3=800 \text{ Вт}$.

Полученные зависимости отображают динамику процесса обезвоживания и позволяют оценить изменения скорости сушки. Очевидно, что снижение скорости не наступает до окончания эксперимента. Также прослеживается прямая зависимость между скоростью сушки и мощностью излучения.

Полученные в результате экспериментальной части исследования данные позволили оценить целесообразность построения экспериментальной сушильной установки на основе маломощных микроволновых излучателей (рис. 6). За основу для построения установки принят ленточный конструктив с модульным принципом компоновки сушильных секций. В качестве отправных точек для построения установки были выбраны

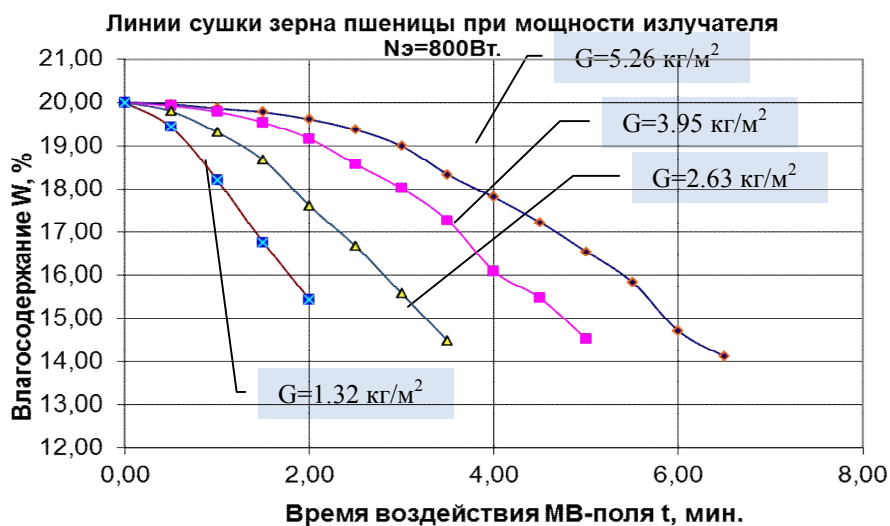


Рис. 3. Кинетика сушки пшеницы в микроволновом поле.

Термограмма зернового слоя при нагрузке $G=5,26 \text{ кг/м}^2$

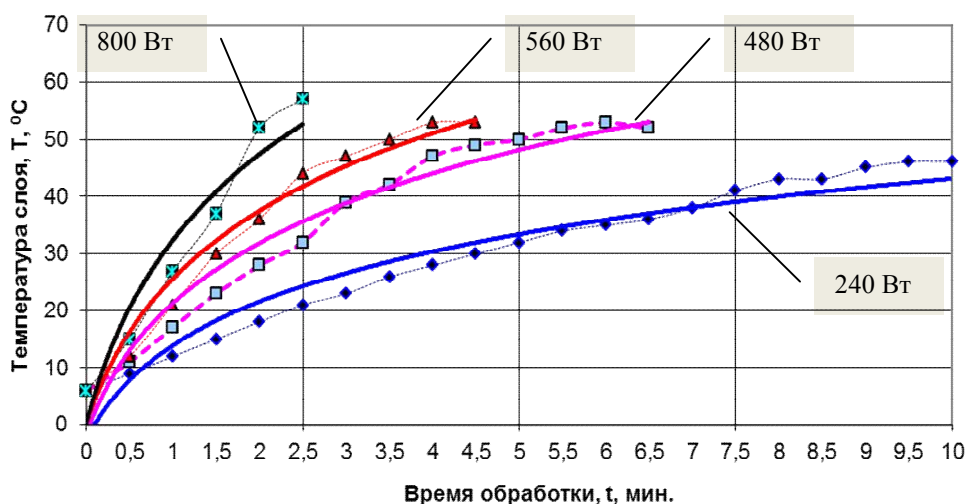


Рис. 4. Термограммы зернового слоя при сушке в микроволновом поле.

Линии скорости сушки при нагрузке $G=5,26 \text{ кг/м}^2$

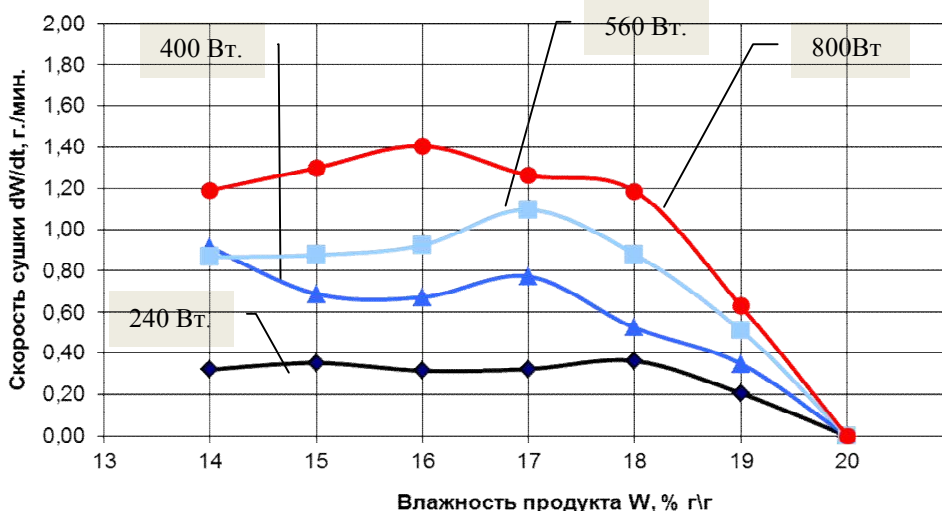


Рис.5. Линии сушки пшеницы в микроволновом поле.

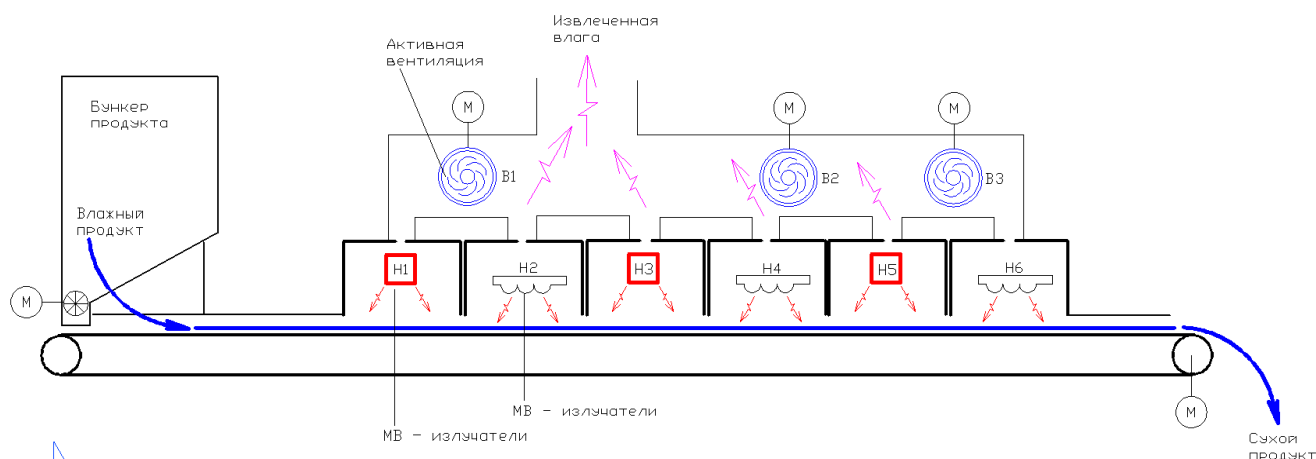


Рис. 6. Структурная схема экспериментального образца ленточной СВ сушилки.

Таблица 2

Основные характеристики сушильной установки

МОДЕЛЬ	МВСУ-ОНАПТ
Частота	2450 ± 50 MHz
Потребляемая электрическая мощность	≤ 3,0 KVA
Выходная мощность СВ излучателей	≤ 2,4 KW (ручное упр.)
Скорость конвейера печи	0-0,3 m/min (ручное упр.)
Размеры входного шлюза	500*240*25 mm
Размеры выходного шлюза	500*240*25 mm
Габаритные размеры установки	3000*600*1200 mm
Материал тоннеля	Нержавеющая сталь
Производительность	Зависит от параметров высушиваемого сырья



Рис. 7. Экспериментальный образец микроволновой ленточной сушилки разработанной и построенной в ОНАПТ.

следующие параметры: каждый из трех модулей должен включать микроволновую и инфракрасную камеры, скорость ленточного привода и производительность питателя должны регулироваться в широких пределах, мощность излучателей каждого модуля должна ступенчато регулироваться в пределах 30–100% мощности магнетрона, регулирование мощности – импульсная модуляция.

Предварительная исследовательская работа и опыт сотрудников кафедры позволили в короткий срок построить экспериментальную установку (рис.6) и приступить к отработке основных технических решений [5, 6].

Технические характеристики экспериментального образца приведены в табл. 2.

Выводы.

Результаты комплексных исследований разработанного экспериментального образца микроволновой сушильной установки подтвердили перспективность установки для многоцелевой микроволновой обработки растительного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.
2. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
3. <http://www.jnadasen.cn>
4. <http://www.bonplas.com>
5. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии // "Современные энергосберегающие технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ – 2011" – Москва, 2011. – том. 1. – С. 422-426.
6. Бурдо О.Г., Яровой И.И., Малашевич С.А., Ружицкая Н.В. Дослідження елементів завантаження апаратів для мікрохвильової обробки харчової сировини // Зб. наук. Праць ОНАХТ. – Одеса, 2010. – вип. 37. С. 189–193.

Поступила 02.2012

Адрес для переписки:

ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039

