

2. Беляев, М.И. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов: моногр. / М. Беляев, П. Пахомов. – Х.: ХИОП, 1991. – 160 с.
3. Тучный В.П., Иванов В.М., Левченко Е.А., Кармазин Ю.А., Гаврилок Н.Н. Технологии завтрезнего поля. Материалы второй Всеукраинской научно-практической конференции «Микроволновые технологии в АПК Украины» Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. Вып.6, Одесса, 2007.-С.9-15.
4. Бандура В.М. Перспективи комбінованих методів переробки олійних культур. Зб.наук. пр. Вінницького національного аграрного університету. Вип. 8. Серія: Технічні науки. Вінниця, 2011. С.32-36.
5. Бошкова И.Л., Волдгушева Н.В., Тучный В.П. Совмещение микроволновой обработки с линией экстрагирования растительного масла. Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. Вып.7-8, Одесса, 2009.-С.45-48.
6. Пешук Л.В., Носенко Т.Г. Біохімія та технологія оліе-жирової сировини.–К.: Центр учбової літератури, 2011.–295с.

УДК 66.047.085-035.2

## МИКРОВОЛНОВАЯ СУШКА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ – БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Яровой И.И.

Одесская Национальная Академия Пищевых Технологий, г. Одесса

*В статье приведен краткий обзор реализаций установок для сушки и термообработки растительного сырья использующих в качестве генераторов тепловой энергии микроволновые излучатели небольшой мощности с частотой колебаний  $2450 \pm 50$  МГц. Обсуждаются их конструктивные особенности, проблемы конструирования таких установок, преимущества и ограничения в их использовании.*

*In the paper a short overview of realizations plants for drying and thermal treating of vegetable raw which use low power microwave emitters with frequency  $2450 \pm 50$  MHz as heat energy generators. Their constructional features, problems of constructing such plants, advantages and drawbacks in using are considered.*

**Ключевые слова:** сушка, СВЧ излучение, микроволновое оборудование, растительное сырье.

Введение. Тепловое воздействие – одна из наиболее широко распространенных технологических операций в процессах обработки растительного сырья, а тепловой нагрев с целью уменьшения исходного влагосодержания обрабатываемого сырья (сушка) – один из наиболее распространенных способов консервирования, подготовки и полуфабрикатирования пищевых продуктов.

Традиционно в пищевой промышленности широко используются технологии сушки основанные на конвекционных механизмах обезвоживания. Использование в процессе сушки сушильного агента несет в себе принципиально – неустраняемые недостатки конвективного способа сушки которые обусловлены особенностями взаимодействия сушильного агента (горячего воздуха) с сырьем. Большинство проблем возможно только смягчить но не исключить полностью так как они являются следствиями данного способа сушки.

Большая энергоемкость и низкая энергоэффективность процесса конвекционной сушки на сегодня оправдывают свое существование благодаря огромной базе уже имеющегося сушильного оборудования и слабой распространенности более эффективных технологий сушки.

**Объект исследования.** Одной из наиболее перспективных технологий обезвоживания сырья и продуктов его переработки является микроволновая сушка, имеющая целый ряд важных отличий и преимуществ по сравнению с конвективными технологиями. Во-первых, она не использует теплоноситель уменьшающий теплопередачу, увеличивающий потери в тракте передачи тепла, способствующий загрязнению обрабатываемого материала и уносящий часть тепла (и сырья) в атмосферу. Во-вторых, вследствие особенностей физического процесса микроволнового нагрева материал частичек сырья или продукта не перегревается локально (вблизи стенок и вводного коллектора сушилки) а тепловыделение происходит в объеме высушиваемого материала, при этом его температура в процессе нагрева будет выше, чем температура стенок аппарата. В-третьих, интенсивность нагрева не зависит от агрегатного состояния материала – только от его свойств и мощности излучателя.

При достаточной мощности СВЧ излучения (или длительности его воздействия) вода содержащаяся в продукте начинает испаряться непосредственно во внутренних слоях продукта, при этом испарение

быстрее всего происходит внутри наиболее влажных областей. Испаренная влага в виде пузырьков пара, по капиллярам материала выводится на поверхность частиц откуда испаряется или уносится воздушным потоком, причем скорость сушки с течением времени не замедляется. Эффект выталкивания неиспаренной влаги пузырьками пара, называемый бародиффузией, позволяет удалить из материала часть влаги без ее испарения, т. е. с меньшими затратами энергии по сравнению с прочими способами сушки.

Микроволновая сушка органического сырья и пищевых продуктов характеризуется малым временем и относительно низкой температурой (в пределах 100 °С) самого процесса сушки, что обуславливает очень высокую сохраняемость в продукте сушки полезных веществ и витаминов.

Микроволновая сушка пищевых продуктов, рыбы, мяса, грибов, зерна, круп, овощей и фруктов отличается очень высокой скоростью и большой эффективностью. Микроволновое сушильное оборудование позволяет значительно упростить технологическую схему сушильного аппарата, исключив все процессы, связанные с подготовкой и рециркуляцией теплоносителя, а также исключив вредные выбросы в атмосферу.

Следует отметить, что под воздействием интенсивного СВЧ поля происходит практически полное уничтожение микрофлоры (обеззараживание продукта), что многократно увеличивает срок хранения полученного сухого продукта и делает микроволновое оборудование еще более эффективным средством промышленного производства. Стерилизация сырья или продукта наступает даже при непродолжительном воздействии микроволнового излучения, для большинства микроорганизмов губительным является не длительность обработки СВЧ полем а тепловой удар сопровождающий даже кратковременное воздействие микроволнового излучения. Особенностью микроволновых стерилизационных установок является то, что обработку во множестве случаев возможно проводить на завершающем этапе производства, уже после упаковки (при использовании полимерной оболочки) и непосредственно перед укладкой в тару или закладкой на хранение, кроме того микроволновая стерилизация настолько эффективна, что в разы увеличивает сроки хранения растительного сырья и готовой продукции.

Микроволновые установки используют только электроэнергию для питания генераторов СВЧ, что обеспечивает их исключительную экологическую чистоту. Единственным ограничением микроволновых сушилок является относительно низкий (~60 %) КПД преобразования электрической энергии в энергию микроволнового излучения, лучшие промышленные образцы генераторов имеют КПД в пределах 80%. В то же время преобразование микроволновой энергии в тепловую происходит с очень высокой эффективностью и КПД близким к 100 %, т. е. в перспективе микроволновые сушильные установки могут иметь суммарные потери энергии в тракте ее передачи высушиваемому материалу в пределах 20% от потребляемой мощности.

**Техническая реализация методов МВ сушки.** Вследствие появления на рынке недорогих СВЧ генераторов (магнетронов) малой мощности (от 0,6 до 1,5 кВт), стало возможным их широкое применение в промышленных и опытно-экспериментальных установках микроволновой обработки сырья и продуктов. Основой применяемых в них решений стало использование групп СВЧ излучателей для получения высокой интенсивности СВЧ поля. Благодаря относительной простоте конструктивных решений узлов микроволновой обработки такие установки представляют собой одиночные или последовательно расположенные резонаторные камеры объединенные транспортирующим сырьем механизмом. Однако за кажущейся простотой скрывается целый комплекс решений обеспечивающий эффективную и безопасную эксплуатацию микроволнового оборудования. К ключевым задачам синтеза микроволновых аппаратов следует отнести: а) обеспечение эффективной работы СВЧ генераторов с резонаторной камерой необходимого объема и пропорций; б) создание конструктива установки обеспечивающего масштабирование СВЧ мощности для получения производительности на уровне промышленных решений; в) обеспечение безопасной эксплуатации и обслуживания установки, контроль параметров процесса обработки; г) создание эффективной системы управления установкой обеспечивающей воспроизводимость заданных режимов работы, многофункциональность и настраиваемость установки, а также множество второстепенных задач связанных с отсутствием опыта конструирования микроволновых сушильных установок.

Наиболее перспективными конструктивными решениями среди микроволновых аппаратов являются ленточные сушилки модульного типа, которые вследствие своей универсальности легко адаптируются для решения широкого круга производственных задач. Ленточный привод в технологических аппаратах используется часто а конструктивные решения на его базе отработаны, ленточные установки достаточно просто встраиваются в существующие технологические линии пищевых и перерабатывающих производств.

В качестве примера микроволновых сушильных установок можно рассмотреть некоторые типовые для рынка модели. Многие из них вследствие универсальности конструкции могут быть использованы для обезвоживания самых различных видов продуктов, сырья или материалов. Многие компании пози-

ціонують свої установки як «мікрохвильове обладнання», без чіткого обмеження способів їх використання.

Наприклад установка «**Microwave High-speed Paper Tube Dryer**» компанії Shanghai Pangzhe Microwave Equipment, Co. Ltd, модель PZ-120KW, призначена



**Рис. 1 – Установка «Microwave High-speed Paper Tube Dryer»**

для сушки труб з паперу. Конструкція установки представляє собою тунель з ленточним транспортувальним механізмом проходящим через послідовально розташовані резонаторні камери зон мікрохвильової сушки. Відведення випареної вологи забезпечується витяжною аспіраційною установкою. Даний тип конструкції вважається найбільш поширеним і відрізняється від подібних реалізацій в першу чергу високою потужністю.

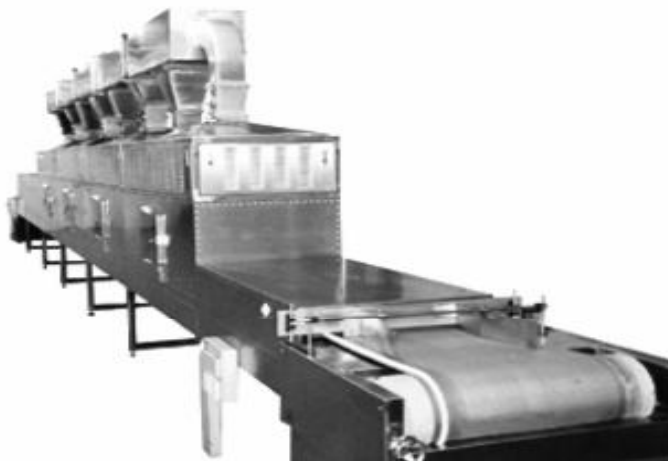
Основні характеристики установки:  
Потужність мікрохвильових випромінювачів: 120 кВт.

Частота мікрохвильових випромінювачів: 2450 ± 50 МГц.

Потребляемая електрична потужність: ≤ 160 кВА.

Точність підтримання заданої температури: ± 3 °С

Напруга живлення: 380 ± 10% В (3 фазне).



**Рис. 2 – Установка «Microwave Dryer PZ-20kw»**

Ще одна установка компанії Shanghai Pangzhe Microwave Equipment, Co. Ltd «**Microwave Dryer PZ-20kw**» призначена для обезвоживання в мікрохвильовому полі сировини і матеріалів різного виду. Установка має більш типові для даного класу апаратів характеристики.

Основні характеристики PZ-20kw:

Потужність мікрохвильових випромінювачів: 20 кВт

Точність підтримання заданої температури: +/- 2 °С

Частота мікрохвильових випромінювачів: 2450 МГц.

Потребляемая електрична потужність: до 26 кВт

Габаритні розміри: 12000x820x1700 мм

Напруга живлення: 3 фазне 380 В

Мікрохвильові утечки: ≤ 5 мВ/см<sup>2</sup> (соотв. допуску)

Дві попередніх установки є розробкою китайської компанії Shanghai Pangzhe Microwave Equipment, Co. Ltd, яка спеціалізується на розробці мікрохвильової сушильної техніки. В активі компанії ціла лінійка продукції (установок) різної потужності і призначення.

Ще декілька азіатських компаній спеціалізуються на розробці і виробництві мікрохвильових установок для сушки і теплової обробки матеріалів.

Компанія «Yantai Care Microwave System Co. Ltd» виробляє випускає декілька видів установок з широким спектром застосувань.



**Рис. 3 – Сушильно - стерилизуюча установка CMS-MW48**

Сушильно - стерилизуюча установка CMS-MW48, має узку спеціалізацію і призначена для сушки і стерилізації рослин (чай і різні трави) і при відносно невисокій потужності має значительну продуктивність.

Технічні характеристики установки:

Робоча частота випромінювачів: 2450±50 МГц

Вихідна потужність: 48 кВт

Продуктивність сушки: 30-50 кг/ч

Продуктивність стерилізації: 100-400 кг/ч

Потребління повітря на вентиляцію: 8000 м<sup>3</sup>/ч

Швидкість стрічки: 0-3 м/хв (регулюється)

Розміри: 13000 x 1300 x 1500 мм

Мікрохвильові витоки: ≤ 5 мВ/см<sup>2</sup> (NS)

Ще одним азіатським виробником мікрохвильової техніки для теплової обробки матеріалів і сировини є компанія **TSUNG HSING FOOD MACHINERY CO., LTD.**, великий виробник обладнання для харчової промисловості в Тайвані.



**Рис. 4 – Установка компанії TSUNG HSING FOOD MACHINERY CO., LTD**

Установка для виготовлення чіпсів, хлоп'ячків, орешків, готових м'ясних продуктів цього виробника має наступні технічні характеристики:

Вихідна потужність випромінювачів: 12 кВт

Робоча частота випромінювачів: 2450 МГц

Розміри установки: 5000x1300x1620 мм

Висота входного вікна: 100 мм

Ширина конвеєрної стрічки: 910 мм

Питання: 220В, 3ф. 60 Гц

Примеров и реализаций микроволновых сушильных и стерилизующих установок построенных на базе СВЧ генераторов с частотой 2450 МГц и продвигаемых в качестве инновационных технологий достаточно много, в качестве одного из главных достоинств микроволновой техники приводится ее высокая производительность позволяющая ускорить процессы обработки продукции в 4 - 10 раз по сравнению с обычными методами, что дает значительные преимущества в производстве продуктов долгого хранения. Не менее широкое применение микроволновое оборудование находит в технологических процессах химических производств – для ускорения реакций полимеризации, вспенивания полимеров, обезвоживания полимерных масс и т.п.

В целом технология микроволнового нагрева (сушки) продуктов, сырья, материалов, вполне готова для широкого внедрения в самые различные области народного хозяйства. Для этого присутствуют все необходимые предпосылки и завершается этап пробного, инновационного внедрения, различных ее реализаций. Как и все инновационные решения находящиеся на стадии внедрения, установки микроволновой обработки являются относительно дорогим товаром, требующим качественного технического сопровождения, разработки новых технологических режимов обработки продукции, разработки адаптированной к новому технологическому процессу системы оценок качества и технологий контроля. Однако несмотря на все сложности инновационного внедрения СВЧ установок предприятия реализовавшие данные технологии в производстве, наработавшие собственный опыт и методику достижения оптимальных результатов получают в ближайшем будущем значительные конкурентные преимущества предложив продукцию и качество практически эксклюзивные на сегодняшнем рынке не только Украины но и Европы.

Одним из наиболее перспективных направлений внедрения МВ - технологий является использование микроволнового нагрева в задачах требующих умеренной и невысокой производительности, к которым и относится большинство задач по термической обработке пищевых продуктов и сырья. Учитывая сопутствующие преимущества технологии, как то: обеззараживание, равномерность обработки, скорость нагрева, точное управление процессом, микроволновая обработка претендует на роль одного из основных технологий термической обработки продуктов в пищевой промышленности.

Использование микроволнового воздействия на пищевые продукты и сырье с целью интенсификации технологических процессов является одним из направлений научно исследовательской работы кафедры процессов и аппаратов Одесской национальной академии пищевых технологий, а разработка усовершенствованных вариантов сушильных установок для растительного сырья является традиционно – приоритетной тематикой в научных исследованиях кафедры. Одной из текущих задач решаемых научным коллективом является разработка экспериментальной модели ленточной сушилки использующей комбинированный СВЧ и ИК нагрев для сушки и сопутствующего обеззараживания растительного сырья.



**Рис. 5 – Действующий экспериментальный образец микроволновой ленточной сушилки разработанной и построенной в ОНАПТ**

ствующую экспериментальную микроволновую установку для исследования процессов СВЧ - сушки растительного сырья и отработки сопутствующих технических решений. Установка запущена и опробована в работе с использованием в качестве сырья зерна пшеницы, продолжаются исследования с использованием других видов сырья.

В качестве базового конструктива для построения установки принят ленточный привод транспортирующий сырье через зоны МВ и ИК сушки с модульным принципом компоновки сушильных секций. В качестве базы для сушильных модулей использованы микроволновые печи, количество модулей ограничено тремя из соображений общих габаритов установки.

Опыт и научно - исследовательские наработки кафедры по внедрению в пищевые производства микроволновых технологий позволили создать дей-

Технические характеристики МВ сушильной установки ОНАПТ:

Потребляемая электрическая мощность:	2,5 кВт
Выходная мощность микроволновых излучателей:	1,5 кВт
Рабочая частота излучателей:	2450 МГц
Расчетная производительность по зерну пшеницы:	~40 кг./ч
Размеры установки (ДхВхШ):	3000х1000х400 мм
Высота входного окна:	20 мм
Ширина конвейерной ленты:	200 мм
Питание:	220В, 50 Гц

Задачи текущего этапа исследований проводимых на установке заключаются в отработке алгоритмов управления сушильными камерами и определении критериев оптимальной работы установки в целом. По мере наработки экспериментальных данных и по окончании доводки режимов работы установки, в планах кафедры создание предпромышленного образца многоцелевой установки для микроволновой обработки растительного сырья.

### Литература

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008.
2. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1973.-528с
3. Явчуновский В.Я. Микроволновая и комбинированная сушка: физические основы, технологии и оборудование. -Саратов: Изд-во Саратов.Ун-та, 1999.
4. Микроволновые печи и безопасность их эксплуатации. Иваненко В.П., Мусаев А.Ф., Кузьмин В.В., Добряков А.Б., Азаев Р.А., Зуев Н.А.
5. [www.sushka.com.ua](http://www.sushka.com.ua)
6. [www.tsunghsing.com.tw](http://www.tsunghsing.com.tw)
7. [www.technopark-isc.com](http://www.technopark-isc.com)
8. [www.industrialmicrowave.ru](http://www.industrialmicrowave.ru)
9. [www.ingredient.su](http://www.ingredient.su)
10. [www.asia.ru](http://www.asia.ru)

УДК 536.24:66.012.3

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ АППАРАТА ТЕРМОВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Целью Б. Я. канд. техн. наук, Иваницкий Г. К. д-р техн. наук, ст. научн. сотр.  
Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

*Рассмотрены особенности технологии термовакуумной обработки жидкостей с использованием конденсационно-испарительной схемы регенерации тепла. На основе экспериментальных и теоретических исследований установлены оптимальные режимы работы промышленных аппаратов, используемых в данной технологии, и предложены методы повышения их энергетической эффективности.*

*The principle of operation of apparatus applied for heat-mechanical processing dairy products with using of the vaporization-condensation scheme of heat regeneration is considered. On the basis of experimental and theoretical investigation it have been found the optimum operation conditions of the commercial apparatus and proposed rational methods of improving their efficiency.*

**Ключевые слова:** дискретно-импульсное введение энергии (ДИВЭ), термовакуумная обработка (ТВО), энергетическая эффективность, капля, испарение, конденсация.

В Институте технической теплофизики НАН Украины в рамках научного направления дискретно-импульсного ввода энергии в гетерогенные среды разработан принципиально новый эффективный способ термовакуумной обработки жидкостей с целью получения конечного продукта с высокими качественными показателями. Высокая эффективность обработки гетерогенных жидкостных систем (например, молока или иных многокомпонентных жидких смесей биологического происхождения) обусловлена возможностью реализовать в объеме системы различного рода гидродинамические и термические воздействия, такие как адиабатное вскипание, кавитация, большие градиенты давлений и температур, интенсивный тепло- и массоперенос через межфазную поверхность и др. [1]. Изучение механизмов, определяю-