

2. Белоусов, С. В. Инновационный метод междурядной обработки почвы, подкормки пропашных культур и многолетних насаждений / С. В. Белоусов, В. А. Бледнов // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Краснодар, 17–21 июня 2013 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2013. – С. 304-309. – EDN TDIXZB.

3. Belousov, S. V. Explanation of the angle of sharpening of a plough cutting working body / S. V. Belousov, E. A. Saprykin, I. S. Karmazin // E3S Web of Conferences, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 126. – Sevastopol: EDP Sciences, 2019. – P. 00025. – DOI 10.1051/e3sconf/201912600025. – EDN OCJGFB.

4. Совершенствование технологических процессов и технических средств для полеводства / В. Б. Рыков, С. И. Камбулов, Н. В. Шевченко, С. В. Белоусов. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2023. – 262 с. – ISBN 978-5-907668-68-3. – EDN NOEGAG.

УДК 663.6 : 621.385

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ХМЕЛЯ КОМБИНИРОВАННЫМ СВЧ-КОНВЕКТИВНЫМ СПОСОБОМ

Н.Г. Горячева<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент,

Г.В. Новикова<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор,

О.В. Михайлова<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор,

М.В. Просвирякова<sup>2</sup>, д-р техн. наук, доцент

<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»,  
г. Химки, Российская Федерация

<sup>2</sup> ГБОУ ВО «Нижегородский инженерно-экономический  
университет», г. Княгинино, Российская Федерация

**Аннотация:** Разработана непрерывно-поточная СВЧ-конвективная хмелесушилка с комбинированными резонаторами, обеспечивающая трёхэтапную сушку свежего хмеля. Использование комбинации микроволновой энергии и конвективного нагрева позволяет эффективно контролировать процессы тепломассообмена, сохраняя технологические свойства продукта и снижая его микробную нагрузку.

**Abstract:** A continuous-flow microwave-convective hop dryer with combined resonators has been developed, providing a three-stage drying process for fresh hops. The use of a combination of microwave energy and convective heating allows effective control over heat-mass transfer processes, preserving the technological properties of the product while reducing its microbial contamination.

**Ключевые слова:** СВЧ-конвективная хмелесушилка, непрерывно-поточный процесс, комбинированный резонатор, торoidalный резонатор, обеззараживание, качество хмеля.

**Keywords:** microwave-convective hop dryer, continuous flow process, combined resonator, toroidal resonator, sterilization, hop quality.

## **Введение**

Сушка свежих растений, включая хмель, имеет решающее значение для сохранения уникальных органических характеристик и полезных биологически активных соединений, влияющих на аромат и полезные свойства продуктов переработки. Современные подходы требуют инновационных решений, устраняющих недостатки традиционных способов тепловой обработки, поскольку они нередко вызывают деградацию структуры и потерю летучих эфирных соединений, способствуя возникновению патогенных бактерий

Комбинированные методы, сочетающие конвективный и СВЧ-нагрев, позволяют интенсифицировать процесс и улучшить качество продукции [1]. Одним из передовых подходов является сочетание традиционной конвекции и микроволновых полей, что значительно ускоряет процедуру обезвоживания и улучшает контроль над потерей важных компонентов растения [1]. Тем не менее, традиционные конструкции оборудования с микроволнами зачастую имеют ограничения по обеспечению однородного распределения энергии внутри объема высушиваемого материала вследствие неоднородности глубины проникновения волн и разницы в толщинах слоев продукта [3].

## **Основная часть**

Традиционные методы сушки, основанные на конвективном нагреве, часто приводят к перегреву продукта, потере ароматических соединений и развитию микрофлоры. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых технологий, сочетающих эффективность и щадящий режим обработки. Одним из перспективных направлений является СВЧ-конвективная сушка. Данная технология позволяет интенсифицировать процесс удаления влаги и обеспечить равномерный прогрев продукта.

Настоящее исследование посвящено разработке принципиально нового устройства для непрерывной СВЧ-конвективной сушки хмеля, на основе комбинации нетрадиционных резонаторов и усовершенствованной транспортировке обрабатываемого материала. Установка включает три ключевых элемента: два усеченоконусообразных резонатора и один кольцевой, образующих единое пространство для прохождения хмеля [2]. Внутри каждого блока реализован механизм транспортировки посредством диэлектрического конвейера, обеспечивающего постоянный контакт материала

с зоной активной сушки. Для оптимизации энергетического ресурса предусмотрен керамический канал под транспортирующей лентой. Направляющий микроволновую энергию непосредственно в слой обрабатываемых материалов. Особенностью конструкции является расположение магнетронов с волноводами вокруг периметра резонаторов, смещенное на  $120^{\circ}$  для достижения оптимального пространственного распределения поля. Такая схема размещения магнетронов вместе с регулируемым подводом подогретого воздуха создает оптимальные условия для контроля температурных и влажностных режимов на всех этапах сушки. Процесс протекает в три стадии.

*Первый этап* (в усеченном коническом резонаторе): происходит нагрев хмеля до  $31\text{--}34^{\circ}\text{C}$  за счет комбинации СВЧ-энергии и конвективного тепла. На этом этапе удаляется поверхностная влага, что предотвращает ее дальнейшую миграцию внутрь продукта. *Второй этап* (во втором усеченном коническом резонаторе): температура повышается до  $37\text{--}46^{\circ}\text{C}$ , что способствует удалению внутренней влаги обусловленное градиенту температуры и давления. *Третий этап* (в торOIDальном резонаторе): выравнивание влажности и температуры при  $65\text{--}75^{\circ}\text{C}$ , а также его обеззараживание. Особенность этапа – создание высокого электрического поля ( $0,6\text{--}1,2 \text{ кВ/см}$ ), которое уничтожает микроорганизмы на поверхности и внутри шишек хмеля.

### **Заключение**

Предлагаемая установка представляет собой революционное решение проблемы эффективного и экологически чистого способа подготовки хмеля для дальнейшего производства напитков и лекарственных препаратов. Многоступенчатый подход снижает риск микробиологического загрязнения и сохраняет ценные химические компоненты исходного сырья, делая установку незаменимой для аграриев и предприятий пищевой индустрии.

### **Список использованной литературы**

1. Геворкян В., Кочемасов В. Объемные диэлектрические резонаторы – основные типы, характеристики, производители // Электроника – 2016. – № 4. – С. 62–76.
2. Патент RU 2814187 C1. СВЧ-конвективная хмелесушилка непрерывно-поточного действия с комбинированными резонаторами / Просвирякова М.В., Горячева Н.Г. и др.; заявл. 12.03.2023; опубл. 26.02.2024.
3. Стрекалов А.В., Стрекалов Ю.А. Электромагнитные поля и волны : учеб. пособие – Москва: РИОР, ИНФРА-М, 2014. – 375 с.