

27. Moiseev, A. I. Dolgovechnost' podshipnikov kacheniya / A. I. Moiseev // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 1970. – № 7. – S. 82-83.
28. Perel', L. YA. Podshipniki kacheniya: raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor / L. YA. Perel'. – Moskva: Mashinostroenie, 1983. – 543 s.
29. Povyshenie dolgovechnosti podshipnikovyh uzlov korobok peredach traktorov semejstva HTZ / YU. V. Ivanshchikov, YU. N. Dobrohotov, N. N. Pushkarenko, A. V. Romanov // Perspektivy razvitiya mekhanizacii, elektrifikacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy II Nacional'noj (Vserossijskoj) nauchno-prakticheskoj konferencii. – CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2020. – S. 10-16.
30. Safronov, P. I. Vybora racional'nogo sposoba vosstanovleniya sopryazheniya tipa val-podshipnik kacheniya traktorov: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / P. I. Safronov. – Leningrad, 1973. – 202 s.
31. Ekologicheskie problemy mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva / YU. V. Ivanshchikov, A. M. Novikov, YU. N. Dobrohotov, N. N. Pushkarenko // Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki: materialy Nacional'noj (Vserossijskoj) nauchnoj konferencii. – Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2018. – S. 109-113.
32. Waterhous, R. B. Fretting corrosion / R. B. Waterhous. – Oxford : Pergamon Press, 1972. – 253 r.
33. Stribeck, R. Ball bearings for various loads / R. Stribeck // Transactions asme. – 1963. – Vol. 29. – P. 420-463.

Information about the authors

1. **Ivanshchikov Yuri Vasilievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: iuv53@mail.ru, tel. 8-927-864-00-63;

2. **Novikov Aleksey Mikhailovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: novam1@mail.ru, tel. 8-952-025-90-34;

3. **Dobrokhotov Yuri Nikolaevich**, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: dobrokhotov47@mail.ru, tel. 8-919-674-25-54;

4. **Gavrilov Vladislav Nikolaevich**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: gavrilovvlad21@yandex.ru, tel. 8-906-384-47-62.

УДК621.385.6; 631.3.072

ХМЕЛЕСУШИЛКА С ИСТОЧНИКАМИ ЭНДОГЕННО-КОНВЕКТИВНОГО НАГРЕВА

М. В. Просвирякова³⁾, В. Ф. Сторчевой¹⁾, Н. Г. Горячева²⁾, О. В. Михайлова³⁾, Г. В. Новикова³⁾

¹⁾Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева

127550, г. Москва, Российская Федерация

²⁾Академия гражданской защиты Министерства чрезвычайных ситуаций России

143409, г. Красногорск, Российская Федерация

³⁾Нижегородский государственный инженерно-экономический университет

606340, г. Княгинино, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена описанию конструкционного исполнения сушилки свежесушенного хмеля. В настоящее время была испытана Российская хмелесушилка ХС-400, использующая конвективный способ сушки. Но этот способ требует коррекции режимных параметров в осенний период в связи с уменьшением влагопоглотительной способности атмосферного воздуха, поэтому ее потребительские характеристики, включая микробиологические показатели, будут нестабильными. Актуальна разработка новой модели хмелесушилki непрерывно-поточного действия для сушки свежесушенного хмеля эндогенно-конвективным способом при сниженных эксплуатационных затратах с сохранением потребительских характеристик.

Инновационная идея состоит в том, что хмелесушилка содержит в горизонтальной плоскости последовательно расположенные резонаторы с вогнутыми поверхностями, и керамическим перфорированными выпуклыми основаниями, и генераторами с воздушным охлаждением, работающими на близких частотах в 915 МГц, 2375 МГц, 2450 МГц.

Научной целью является разработка микроволновой технологии и оборудования непрерывно-поточного действия с сверхвысокочастотными генераторами с воздушным охлаждением и с обоснованными конструктивными исполнениями нетрадиционных резонаторов для сушки хмеля, обеспечивающих электромагнитную безопасность без экранирующего корпуса. Объем разработанной хмелесушилки достаточно большой и необходим для того, чтобы через него транспортировать значительное количество хмеля. Если линейные размеры резонатора более чем в 10 раз превышают длину волны генератора, то такой резонатор считают многомодовым. Поэтому с помощью новой конструкции решается задача оптимизации конструкционного исполнения и размеров вогнутых поверхностей резонаторов, при которых в нем возбуждаются только определенные виды колебаний с применением нескольких генераторов, работающих на близких частотах. Разработанная установка содержит последовательно состыкованные с основаниями резонаторы в виде вогнутого параболоида и гиперboloида с вогнутым параболоидом, образуя сушильную камеру. Общими основаниями состыкованных резонаторов служат диэлектрические выпуклые перфорированные, жестко закрепленные диски. Диаметры оснований резонаторов и их длина кратны половине длины основной волны. Вдоль сушильной камеры проложена рабочая ветвь сетчатого радиопрозрачного транспортера. К стыку с одной стороны основания гиперboloида-резонатора с параболоидом-резонатором с нижней стороны сушильной камеры пристыкован запердельный волновод-воздуховод, куда прикреплена тепловая пушка. К стыку с другой стороны основания гиперboloида-резонатора с другим параболоидом-резонатором с верхней стороны сушильной камеры пристыкован волновод-воздуховод. По периметру оснований обоих параболоидов-резонаторов и по периметру окружности малого диаметра гиперboloида-резонатора со сдвигом на 120 градусов расположены генераторы, работающие на разных близких частотах. Вершины обоих параболоидов-резонаторов усечены на уровне критического сечения и имеют прорезы шириной, необходимой для прохождения рабочей ветви транспортера с сырьем, но высотой не более половины длины основной волны.

Ключевые слова: хмелесушилка, эндогенно-конвективный способ, магнетроны с воздушным охлаждением, электромагнитное поле сверхвысокой частоты, свежесобраный хмель, высокая напряженность электрического поля, вогнутые конфигурации резонаторов, генераторы, работающие на близких частотах.

Введение. В последнее время в мире производится 80-115 тыс. тонн хмеля при занимаемой им площади в 54-57 тыс. га [5]. Последние годы политика зарубежных поставщиков хмеля, имеющего высокое содержание альфа-кислот (до 15-18 %), не позволила широко развивать хмелеводство в России, в том числе в Чувашской Республике (ЧР). В ЧР занимались выращиванием ароматических сортов хмеля с содержанием альфа-кислот всего в 3,5-8,5 % в силу природно-климатических условий. Сегодня ситуация на мировом рынке хмеля изменилась, увеличивается спрос на ароматические сорта. С 2017 г. в России производят около 190 тонн товарного хмеля. Более 90 % валового сбора хмеля в России приходится на ЧР. Урожайность хмеля ароматического сорта в ЧР составляет 8-15 ц/га, а в Китае достигает 19-20 ц/га. В настоящее время продолжают сушить свежесобраный хмель на хмелесушилке ПХБ-750 чешского производства. Основным ее узлом является пластинчатые поддоны с отверстиями, через которые к слоям высушенных шишек хмеля подводится сушильный агент. Сушильным агентом является горячий воздух, подогретый до 60 °С. Для устранения неоднородной влажности и повышения эластичности шишек хмеля используют камеру кондиционирования. При выходе влажность хмеля составляет не более 13 % [5]. Необходимо повысить эффективность этой сушилки.

Известна Чехословацкая ленточная хмелесушилка SP12 производительностью в 3 т/ч по влажному сырью (50-85 %). Производительность по выходящему сырью (10-20%) равна 1,5 т/ч. Потребляемая электрическая мощность 43 кВт, мощность теплогенератора 500 кВт. Расход топлива 38 л/ч. Габаритные размеры – 19х4,45х5,22 м.



Рис. 1. Ленточная хмелесушилка SP12

В 2019 г. была разработана Российская хмелесушилка ХС-400. Ее выпускают в Московской области в г. Люберцы. Согласно концепции развития хмелеводства на 2020-2025 гг., основная цель отрасли – увеличение производства и переработки хмеля. В ЧР планируется запустить три хмелеуборочно-сушильных комплекса [7]

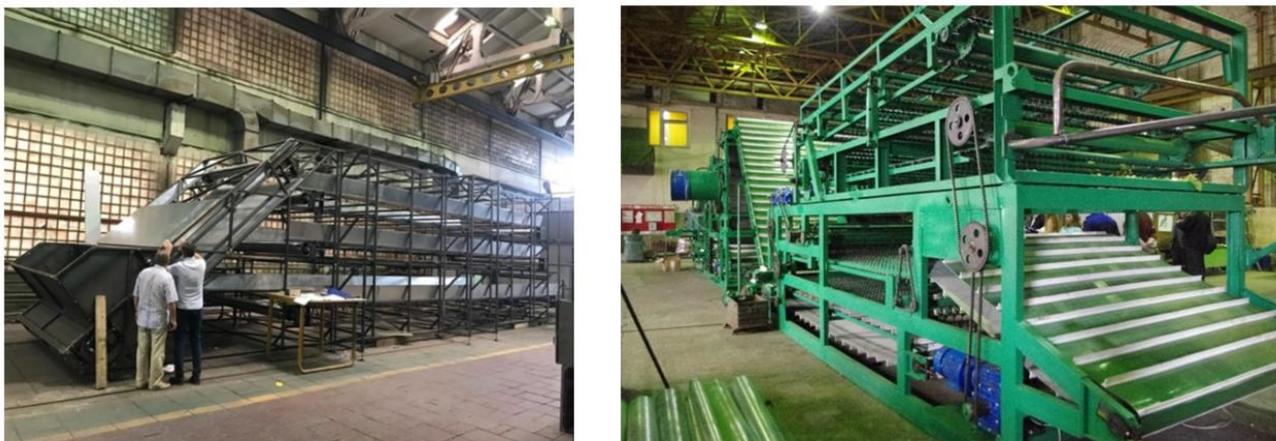


Рис. 2. Хмелесушилка ХС-400

Кабинет министров ЧР утвердил 20.08.20220 № 738-р Концепцию развития хмелеводства на 2020-2025 годы, где целями являются увеличение производства и переработки хмеля. В ЧР планируется запустить три хмелеуборочно-сушильных комплекса [2]. Это результат соглашения оборонного производителя с Министерством сельского хозяйства Чувашской республики. Первый заказчик новой хмелесушилки – ООО «Агроресурсы». Это предприятие занимается производством и переработкой хмеля в Чуваши. В настоящее время в ЧР испытывается Российская хмелесушилка ХС-400, при работе которой используется конвективный способ сушки. Но этот способ требует коррекции режимных параметров в осенний период в связи с уменьшением влагопоглощательной способности атмосферного воздуха. Из-за длительности процесса сушки снижаются потребительские характеристики хмеля: нагретый до 60 °С воздух не снижает развития микрофлоры, не купирует появления плесени. Поэтому до 15 % первосортного хмеля превращается во второсортный.

Известны и другие способы сушки хмеля: сублимационный, высокочастотный, с помощью инфракрасных лучей и т.п. Имеется авторское свидетельство № 1220605 [1], в котором описаны метод и техническое устройство сушки свежесобранного хмеля с электромагнитным полем высокой частоты (13,56 МГц, 27,12 МГц, 40,68 МГц). Установка имеет периодическое действие, поскольку в высокочастотном диапазоне сложно обеспечить электромагнитную безопасность, если установка имеет непрерывно-поточное действие. Такая технология обеспечивает равномерную сушку хмеля с начальной влажностью в 75-82 % при чередовании цикла нагрева с циклом охлаждения. Напряженность электрического поля (ЭП) колеблется в пределах 0,05-0,3 кВ/см. Но при таком уровне напряженности электрического поля добиться улучшения микробиологических показателей хмеля затруднительно. В работе Ю. В. Корчагина [2] доказано, что для обеспечения существенного нагрева микроорганизмов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты напряженность ЭП должна быть выше 0,6-1,0 кВ/см. При высокой напряженности ЭП возможен губительный эндогенный нагрев одиночных микроорганизмов.

Актуальна разработка установки непрерывно-поточного действия для сушки свежесобранного хмеля эндогенно-конвективным способом при снижении эксплуатационных затрат с сохранением его потребительских характеристик.

Материалы и методы исследований. Свежесобранный хмель по ГОСТу 21947-76 должен иметь влажность в 75-80 %, высушенный в щадящем режиме хмель – 8-12 %.

При разработке конструкции хмелесушилки, собранной из трех резонаторов с вогнутыми конфигурациями поверхностей, было использовано трехмерное компьютерное моделирование установки. Основными критериями при конструировании сушильной камеры являлись следующие: непрерывно-поточный режим работы с обеспечением высокой напряженности электрического поля и электромагнитной безопасности без дополнительного экранирующего корпуса с использованием магнетронов воздушного охлаждения. Для возбуждения равномерного поля в резонаторе с размерами, превышающими в десятки раз длину волны, были использованы генераторы, работающие на близких частотах (915 МГц, 2375 МГц, 2450 МГц).

Результаты исследований и их обсуждение. Научной целью данной работы является разработка микроволновой технологии и оборудования непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения и с обоснованными конструктивно-технологическими параметрами для сушки свежесобранного хмеля, обеспечивающими электромагнитную безопасность без экранирующего корпуса. В процессе сушки при эндогенном нагреве качество хмеля существенно улучшается за счет того, что нагрев высушенных частей прекращается, так как тангенс угла диэлектрических потерь прямо пропорционален влажности [8]. Поэтому с уменьшением влажности в процессе сушки потери сверхвысокочастотной (СВЧ) энергии уменьшаются, а нагрев продолжается только на тех участках рассыпанного на транспортере хмеля, где сохраняется повышенная влажность.

Для того, чтобы применение СВЧ энергии оправдалось, необходимо использовать магнетроны с воздушным охлаждением и с высоким КПД, а конструкция объемного резонатора при работе хмелесушилки непрерывно-поточного действия должна обеспечить электромагнитную безопасность. Объем каждого резонатора должен быть достаточно большим для того, чтобы через него можно было транспортировать значительное количество хмеля. Если линейные размеры резонатора в 10-20 раз превышают длину волны генератора, то в нем возбуждается несколько видов колебаний, то есть резонатор становится многомодовым. Происходит интерференция полей, в результате чего в некоторых точках возникают сильные поля, а в других – слабые, то есть поле становится неравномерным. Таким образом, решается задача оптимизации конструктивного исполнения и размеров резонаторов, с помощью которых в нем можно возбуждать только определенные виды колебаний, а за счет интерференции достичь большей равномерности поля по всему объему сушильной камеры.

Проводятся исследования, направленные на поиск оптимального способа достижения равномерности поля, при этом применяются генераторы, работающие на близких частотах (915 МГц, 2375 МГц, 2450 МГц.) Известно, что, чем ближе расположены виды колебаний по шкале длин волн в многомодовом резонаторе, тем равномернее поле. Следовательно, происходит равномерный нагрев сырья даже в случае слабой загрузки резонатора сырьем с малым значением диэлектрической проницаемости [6]. При этом основной среди волн длиной в 32,79 см, 12,63 см, 12,24 см стала длина в 12,24 см, поскольку она имеет минимальную глубину проникновения в сырье.

Наша инновационная идея состоит в том, что хмелесушилка содержит последовательно расположенные в горизонтальной плоскости резонаторы с вогнутыми поверхностями и диэлектрическими выпуклыми перфорированными основаниями и генераторами, работающими на близких частотах.

Хмелесушилка непрерывно-поточного действия с источниками эндогенно-конвективного нагрева была собрана из трех последовательно соединенных секций (рис. 1). Первая и третья секции представлены в виде параболоидов 1 и 7, выполненных из неферромагнитного материала (например, из алюминия, меди). Вторая секция представлена в виде гиперboloида 3, выполненного из неферромагнитного материала. Оба параболоида-резонатора основаниями состыкованы с основаниями гиперboloида 3 и образуют горизонтально расположенную сушильную (рабочую) камеру 16. Причем диаметры оснований резонаторов и их длины кратны половине основной длины волны. Вдоль этой камеры расположена рабочая ветвь 10 сетчатого радиопрозрачного транспортера, а его холостая ветвь 12 с электроприводом 11 и натяжными узлами проложены за пределы сушильной камеры. По всей длине сушильной камеры 16 расположен сетчатый П-образный ограничитель 9, выполненный из радиопрозрачного материала, позволяющего передвигать в нем рабочую ветвь сетчатого транспортера 10. Ограничитель 9 жестко закреплен на внутренних стенках сушильной камеры 16. К стыку оснований первого параболоида-резонатора 1 и гиперboloида-резонатора 3 с нижней стороны сушильной камеры 16 был пристыкован запердельный волновод-воздуховод 14 с заслонкой, куда была прикреплена тепловая пушка 15. К стыку оснований второго параболоида-резонатора 7 и гиперboloида-резонатора 3 с верхней стороны сушильной камеры 16 был пристыкован воздуховод. Он одновременно выполняет функцию запердельного волновода 5. По периметру оснований обоих параболоидов-резонаторов 1, 7 со сдвигом на 120 градусов расположены генераторы 2 с воздушным охлаждением, излучатели которых направлены в соответствующие резонаторы. Причем генераторы работают на близких разрешенных частотах сверхвысокочастотного диапазона. По периметру окружности малого диаметра гиперboloида-резонатора 3 со сдвигом на 120 градусов были установлены генераторы 4, которые также работают на близких частотах. Резонаторы 1, 3, 7 разделены с помощью диэлектрических (керамических) перфорированных выпуклых дисков 13, 17. Они служат основаниями резонаторов. Из-за малых значений тангенса угла диэлектрических потерь ($3,2 \cdot 10^{-2}$) и диэлектрической проницаемости (6-12) образуются металлодиэлектрические резонаторы, обладающие более высокой собственной добротностью, чем объемные резонаторы из неферромагнитного материала. К тому же малое значение тангенса угла диэлектрических потерь позволяет их снизить. Каждое пространство между неферромагнитной выпуклой боковой поверхностью и выпуклым диэлектрическим перфорированным основанием выполняет функцию *металлодиэлектрического* резонатора. В каждом резонаторе по три излучателя от трех генераторов, работающих на близких частотах.

Диски 13, 17 по центру имеют отверстия размером с П-образный ограничитель 9. Вершины обоих гиперboloидов-резонаторов 1, 7 усечены на уровне критического сечения и имеют отверстия 8 с шириной, необходимой для прохождения рабочей ветви транспортера 10 сырьем 18, но высотой не более половины основной длины волны. Размеры резонатора подбираются таким образом, чтобы в сужающихся частях возникли условия для отсечки высших типов колебаний. Вследствие этого в данных структурах создаются условия для возникновения резонансных колебаний за счет переотражений электромагнитных волн высшего порядка от критических сечений, в которых выполняется условие отсечки [4, с. 63]. В области оснований резонаторов 1, 7 существуют волны, постоянное распространение которых уменьшается в случае удаления от основания.

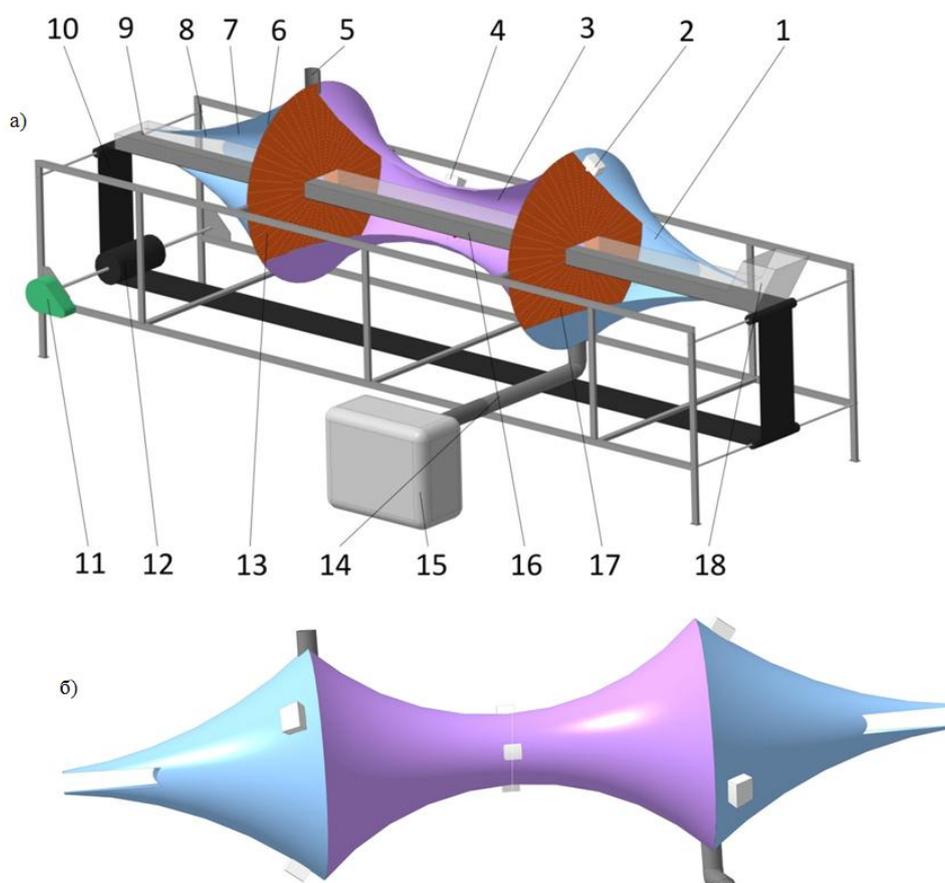


Рис. 3. Хмелесушилка непрерывно-поточного действия с источниками эндогенно-конвективного нагрева:
 а) общий вид; б) общий вид трех резонаторов; 1 – первый параболоид-резонатор; 2 – магнетроны на поверхности первого параболоида; 3 – гиперboloид-резонатор; 4 – магнетроны на поверхности гиперboloида; 5 – запердельный волновод-воздухоотвод; 6 – магнетроны на поверхности второго параболоида-резонатора; 7 – параболоид-резонатор; 8 – отверстие на вершине второго параболоида-резонатора; 9 – П-образный сетчатый ограничитель из радиопрозрачного материала; 10 – рабочая ветвь сетчатого транспортера; 11 – электропривод транспортера с натяжным узлом; 12 – холостая ветвь транспортера; 13, 17 – керамические перфорированные выпуклые диски; 14 – запердельный волновод-воздуховод; 15 – тепловая пушка; 16 – сушильная камера; 18 – приемная емкость для шишек хмеля

Около вершин параболоидов-резонаторов образуются поверхности (критическое сечение), от которых полностью отражаются волны. Это позволяет создавать отверстия в зауженной части резонатора (на вершинах обоих параболоидов-резонаторов) для внесения сырья внутрь первого параболоида-резонатора 1 и вывода его из второго параболоида-резонатора 7. Причем критические сечения располагаются на значительном расстоянии от вершин параболоидов-резонаторов, что позволяет создавать отверстия для передвижения транспортера с сырьем, практически не нарушая структуры электромагнитного поля. При этом необходимо учесть сложную зависимость параметров резонатора от диэлектрических свойств свежесобранного хмеля: это приводит к смещению месторасположения критических сечений в сторону вершины. Размеры отверстия, с одной стороны, должны быть согласованы с размерами транспортера, с другой – с месторасположением критического сечения.

Процесс сушки свежесобранного хмеля происходит следующим образом. Необходимо включить тепловую пушку 15 для подачи воздуха в сушильную камеру с определенным напором и температурой в 30-65 °С. Далее нужно включить электропривод 11 сетчатого радиопрозрачного транспортера 10, 12, после чего с приемной емкости 18 шишки хмеля начинают равномерно высыпаться на рабочую ветвь 10. Включаем вентиляторы (не показаны) для охлаждения магнетронов (2, 4), сверхвысокочастотные генераторы (электронные блоки, пусковую и защитную аппаратуру, которые расположены в шкафу управления). В каждом резонаторе возбуждаются электромагнитные поля от генераторов, работающих на близких сверхвысоких частотах, происходит интерференция волн. Боковые поверхности всех трех резонаторов 1, 3, 7 имеют вогнутые конфигурации с радиусом, кратным половине основной длины волны. В резонаторах с криволинейными поверхностями электромагнитные поля формируются волнами, распространяющимися внутри керамического (или сапфирного) основания (13, 17) и падающими на боковую криволинейную неферромагнитную поверхность волнами. Эти резонаторы похожи на металлодиэлектрические резонаторы. В таких резонаторах с криволинейными поверхностями повысить собственную добротность можно благодаря уменьшению продольных токов в стенках (зеркальные внутренние неферромагнитные поверхности, выполненные, например, из меди). При этом их коэффициент отражения близок единице [3].

Под воздействием ЭМП СВЧ шишки хмеля эндогенно нагреваются равномерно по всему сечению, так как глубина проникновения волн разной частоты соизмерима с размерами шишек хмеля. В связи с тем, что градиенты температуры, влажности и давления направлены из центра к периферии шишек, выделенная с поверхности влага удаляется теплым воздухом через волновод-воздухоотвод 5. В процессе перемещения сетчатого транспортера 10 вдоль сушильной камеры слой шишек продувается теплым воздухом, поданным через запердельный волновод-воздуховод 14 и распространяющимся через перфорации диэлектрических дисков 13, 17 по всему объему сушильной камеры 16 до воздухоотвода 5.

Таким образом, шишки хмеля подвергаются эндогенно-конвективному нагреву, высушиваются и выгружаются за пределами сушильной камеры. Во всех трех секциях (1, 3, 7) доза воздействия ЭМП СВЧ, температуры и напора подаваемого воздуха контролируются и регулируются в зависимости от влажности хмеля путем изменения мощности генераторов и скорости передвижения транспортера. Мощность потока излучений через отверстия 8 контролируется с помощью прибора ПЗ-33, допустимая мощность потока излучений – 10 мВт/см². При превышении этой нормы сокращается продолжительность работы обслуживающего персонала. Использование запердельных волноводов 14, 5, размеры которых согласованы с длиной основной волны, и выполнение резонаторов из неферромагнитных материалов определенной толщины (2,5-4 мм) обеспечивает соблюдение норм электромагнитной безопасности. В области зауженных частей резонаторов (1, 3, 7) напряженность электрического поля достаточно высокая, чтобы ограничить жизнедеятельность микроорганизмов [4]. Поэтому в начале технологического процесса скорость эндогенного нагрева шишек выше, далее она снижается по мере передвижения к максимальному диаметру параболоида-резонатора 1. Потом вновь скорость нагрева шишек начинает расти до середины гиперблоида-резонатора 3, и вновь идет повторение цикла повышения и понижения температуры сырья до достижения им отверстия 8 на выходе. Использование генераторов, работающих на близких частотах, и плавное четырехкратное изменение скорости нагрева позволит исключить неравномерный нагрев шишек по сечению и толщине слоя на транспортере.

Выводы. Инновационность нашей идея заключается в том, что хмелесушилка, расположенная на горизонтальной поверхности, представляет собой последовательно расположенные металлодиэлектрические резонаторы с вогнутыми боковыми поверхностями из неферромагнитного материала с диэлектрическими основаниями, содержащими генераторы, работающие на близких частотах в 915 МГц, 2375 МГц, 2450 МГц.

Основным критерием при конструировании хмелесушилки является непрерывно-поточный режим работы с обеспечением высокой напряженности электрического поля и электромагнитной безопасности без дополнительного экранирующего корпуса при использовании магнетронов воздушного охлаждения.

Разработанная трехсекционная хмелесушилка непрерывно-поточного действия с источниками конвективного тепла и сверхвысокочастотными генераторами, расположенными на металлодиэлектрических резонаторах с криволинейными поверхностями, обеспечивает сушку хмеля в щадящем режиме благодаря соблюдению скважности технологического процесса нагрева сырья с разной скоростью в электромагнитных полях, возбужденных генераторами, работающими на близких сверхвысоких частотах.

Комбинированный эндогенно-конвективный нагрев шишек хмеля с использованием сетчатого радиопрозрачного ограничителя позволяет сохранить потребительские качества высушенного хмеля и улучшить его микробиологические показатели благодаря высокой напряженности электрического поля в нетрадиционных резонаторах.

Отверстия для подачи свежесобранного хмеля в сушильную камеру и его выгрузки, выполненные на уровне критического сечения параболоидов-резонаторов, обеспечивают электромагнитную безопасность без дополнительного экранирующего корпуса.

Литература

1. А.с. N 1220605 (СССР). Установка для сушки сельскохозяйственных продуктов / Г. В. Зайцев, К. П. Майоров, П. В. Зайцев // Бюллетень изобретений. – 1986. – N 12. – 2 с.
2. Патент № 2161505/А 61L2/12, А61L2/08. Способ стерилизации материалов при помощи СВЧ излучения с высокой напряженностью поля и устройство для реализации способа / Ю. В. Корчагин. – URL: <https://findpatent.ru/patent/216/2161505.html> (дата обращения: 06.06.2021). – Текст: электронный.
3. Диэлектрические резонаторы / под редакцией М. Е. Ильченко. – М.: Радио связь, 1989. – 328 с.
4. Дробахин, О. О. Исследование возможности применения связанных биконических резонаторов для определения параметров диэлектрических материалов / О. О. Дробахин, Д. Ю. Салтыков // Прикладная радиоэлектроника. – 2014. – Том 13, № 1. – С. 64-68.
5. Перспективная ресурсосберегающая технология производства хмеля: методические рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 52 с.
6. Пчельников, Ю. Н. Электроника сверхвысоких частот / Ю. Н. Пчельников. – М.: Радио и связь, 1981. – 96 с.
7. Распоряжение № 738-р об утверждении Концепции развития хмелеводства в Чувашской Республике на 2020-2025 годы. – URL: km.cap.ru/doc/laws/2020/08/20/disposal-738-r (дата обращения: 06.06.2021). – Текст: электронный.
8. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов / И. А. Рогов, В. Я. Адаменко [и др.]. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 288 с.

Сведения об авторах

1. **Просвирякова Марьяна Валентиновна**, доктор технических наук, профессор кафедры электрификация и автоматизация, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская 22, а; e-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru, тел. 8953015539;
2. **Сторчевой Владимир Федорович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов им. академика И.Ф. Бородина, 127550, г. Москва, Лиственничная аллея, д. 6, корпус 24; e-mail: energo-air@tgau-msha.ru, тел. 84999763161;
3. **Горячева Наталья Геннадьевна**, кандидат технических наук, доцент, Академия гражданской защиты МЧС России, 143409, Московская область, г. Красногорск, ул. Братьев Горожанкиных, д. 23; e-mail: goryacheva.76@mail.ru, тел. 89165923257;
4. **Михайлова Ольга Валентиновна**, доктор технических наук, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий и системы связи, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская 22 а; e-mail: ds17823@yandex.ru, тел. 891996725370;
5. **Новикова Галина Владимировна**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская 22 а; e-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru, тел. 89279940052.

HOP DRYER WITH ENDOGENOUS-CONVECTIVE HEATING SOURCES

M. V. Prosviryakova³⁾, V. F. Storchevoy¹⁾, N. G. Goryacheva²⁾, O. V. Mikhailova³⁾, G. V. Novikova³⁾

¹⁾*Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 127550, Moscow, Russian Federation,*

²⁾*Academy of Civil Protection of the EMERCOM (Ministry of Emergency Situations) of Russia 143409, Krasnogorsk, Moscow region, Russian Federation,*

³⁾*Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economic 606340, Knyaginino, Russian Federation*

Brief abstract. The article is devoted to the description of the structural design of the freshly harvested hop dryer. At the present time the Russian hop dryer XC-400, which uses the convective drying method, has been tested. But this method requires correction of operating parameters in the autumn period due to a decrease in the moisture-absorbing capacity of atmospheric air, therefore, its consumer characteristics, including microbiological indicators, will be unstable. The development of a new model of a continuous-flow hop dryer for drying freshly harvested hops by an endogenous convective method with reduced operating costs while maintaining consumer characteristics is relevant.

The innovative idea is that the hop dryer contains in a horizontal plane sequential resonators with concave surfaces and ceramic perforated convex bases and air-cooled generators operating at close frequencies of 915 MHz, 2375 MHz, 2450 MHz.

The scientific goal is the development of microwave technology and equipment for continuous-flow operation with ultra-high-frequency air-cooled generators and with reasonable designs of unconventional resonators for drying hops, providing electromagnetic safety without a shielding housing. The volume of the developed hop dryer is large enough and necessary in order to transport a significant amount of hops through it. If the linear dimensions of the resonator are more than 10 times the generator wavelength, then such a resonator is considered multimode. Therefore, with the help of a new design, the problem of optimizing the design and dimensions with concave resonator surfaces is solved, in which only certain types of oscillations are excited in it using several generators operating at close frequencies. The developed installation contains resonators in the form of a concave paraboloid and a hyperboloid with a concave paraboloid, sequentially docked with the bases, forming a drying chamber. The common bases of docked resonators are dielectric convex perforated, rigidly fixed disks. The diameters of the bases of the resonators and their length are multiples of half the length of the fundamental wave. A working branch of a mesh radio-transparent conveyor is laid along the drying chamber. To the junction on one side of the base of the hyperboloid-resonator with the paraboloid-resonator, on the lower side of the drying chamber, an out-of-limit waveguide-air duct is attached to which the heat gun is attached. A waveguide-air outlet is docked to the junction on the other side of the base of the hyperboloid-resonator with another paraboloid-resonator, on the upper side of the drying chamber. Generators operating at different close frequencies are located along the perimeter of the bases of both paraboloids-resonators and along the perimeter of the small-diameter circle of the hyperboloid-resonator with a shift of 120 degrees. The tops of both paraboloids-resonators are truncated at the level of the critical section and have slots with the width necessary for the passage of the working branch of the conveyor with the raw material, but with a height of no more than half the length of the main wave.

Key words: hop dryer, endogenous convective method, air-cooled magnetrons, microwave electromagnetic field, freshly harvested hops, high electric field strength, concave resonator configurations, generators operating at close frequencies.

References

1. A.s. N 1220605 (SSSR). Ustanovka dlya sushki sel'skohozyajstvennykh produktov / G. V. Zajcev, K. P. Majorov. P. V. Zajcev // Byulleten' izobretenij. – 1986. – N 12. – 2 s.
2. Patent № 2161505/A 61L2/12, A61L2/08. Sposob sterilizacii materialov pri pomoshchi SVCH izlucheniya s vysokoj napryazhennost'yu polya i ustrojstvo dlya realizacii sposoba / YU. V. Korchagin. – URL: <https://findpatent.ru/patent/216/2161505.html> (data obrashcheniya: 06.06.2021). – Tekst: elektronnyj.
3. Dielektricheskie rezonatory /pod redakciej M. E. Il'chenko. – M.: Radio svyaz', 1989. – 328 s.
4. Drobahin, O. O. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya svyazannykh bikonicheskikh rezonatorov dlya opredeleniya parametrov dielektricheskikh materialov / O. O. Drobahin, D. YU. Saltykov // Prikladnaya radioelektronika. – 2014. – Tom 13, № 1. – S. 64-68.
5. Perspektivnaya resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva hmelya: metodicheskie rekomendacii. – M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. – 52 s.
6. Pchel'nikov, YU. N. Elektronika sverhвысокoй chastot / YU. N. Pchel'nikov. – M.: Radio i svyaz', 1981. – 96 s.
7. Rasporyazhenie № 738-r ob utverzhdenii Konceptcii razvitiya hmelevodstva v CHuvashskoj Respublike na 2020-2025 gody. – URL: km.cap.ru/doc/laws/2020/08/20/disposal-738-r (data obrashcheniya: 06.06.2021). – Tekst: elektronnyj.
8. Elektrofizicheskie, opticheskie i akusticheskie karakteristiki pishchevykh produktov / I. A. Rogov, V. YA. Adamenko [i dr.]. – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1981. – 288 s.

Information about authors

1. **Prosviryakova Maryana Valentinovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrification and Automation, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 606340, Nizhny Novgorod Region, Knyaginino, st. October 22, a; e-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru, tel. 8953015539;

2. **Storchevoy Vladimir Fedorovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Robotization of Technological Processes named after Academician I.F. Borodin, 127550, Moscow, Listvennichnaya alley, 6, building 24; e-mail: energo-air@rgau-msha.ru, tel. 84999763161;

3. **Goryacheva Natalya Gennadijevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia, 143409, Moscow region, Krasnogorsk, st. Bratiev Gorozhankinyh, 23; e-mail: goryacheva.76@mail.ru, tel. 89165923257;

4. **Mikhailova Olga Valentinovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information and Communication Technologies and Communication Systems, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 606340, Nizhny Novgorod Region, Knyaginino, st. Oktyabrskaya 22 a; e-mail: ds17823@yandex.ru, tel. 891996725370;

5. *Novikova Galina Vladimirovna*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 606340, Nizhny Novgorod Region, Knyaginino, st. Oktyabrskaya 22 a; e-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru, tel. 89279940052.

УДК 635.21

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ

А. В. Семенов, А. М. Новиков, В. Н. Гаврилов
Чувашский государственный аграрный университет
428003, Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. *Статья посвящена актуальной проблеме формирования устойчивой среды, необходимой для развития растений картофеля при изменяющихся почвенно-климатических условиях. Избыточные летние осадки, чередующиеся длительными засухами, являются причиной снижения урожайности культуры. В сложившихся условиях изучение новых технологий, способных нейтрализовать негативное воздействие засухи и избыточных осадков, имеет весьма большую научную и практическую значимость.*

Целью работы является определение влияния ширины междурядий на агрофизические параметры почвы. Задачи исследования – выявление динамики изменений параметров влажности, плотности, температуры и структуры почвы в зависимости от ширины междурядий.

Для оценки влияния отдельных агротехнических приемов на формирование среды, влияющей на развитие растений картофеля в период вегетации, проводились исследования агрофизических параметров почвы.

Закладка полевого опыта, учет, исследование и обработка полученных результатов были проведены с использованием традиционных методик.

При изучении водно-физических показателей почвы в гребне по горизонтам 0-10 и 10-20 см было выявлено, что увеличение ширины междурядий, в условиях продолжительной засухи способствует созданию в верхних слоях почвы благоприятных условий для развития растений картофеля. Объемные гребни удерживают в почве большее количество влаги. Также было установлено, что при выпадении большого количества осадков почва в таких междурядьях не переувлажняется. В среднем за период вегетации влажность почвы на глубине залегания клубней в широких междурядьях оказалась выше на 4,5...5,5 % от ППВ.

Влияние ширины междурядий на температуру почвы на глубине в 10-20 см было особенно заметно в период, характеризующийся продолжительным высокотемпературным режимом. Средняя температура почвы на широких междурядьях оказалась на 3,0...4,5° С ниже, чем в гребнях с менее широкими междурядьями.

Результаты исследований могут быть учтены при разработке новых технологий, способных нейтрализовать разрушительное воздействие засухи, высоких температур и избыточных осадков.

Ключевые слова: *картофель, ширина междурядий, плотность, влажность, структура почвы.*

Введение. Картофель имеет высокую потенциальную урожайность. Природно-климатические, а также почвенные условия России позволяют получать высокие урожаи культуры [1], [8]. При этом большое значение имеет регулирование агрофизических показателей, влияющих на рост и развитие растений.

Согласно имеющимся научным данным, во всем мире происходит значительное изменение климата. Значения температур за последние двенадцать лет были самыми высокими, начиная со времен первых записей метеорологических условий. Средняя температура почвы увеличилась на 1-2 °С. Сильные летние дожди, чередующиеся длительными засухами, являются следствием глобального изменения климата. При этом сильные осадки заливают поля, размывают гребни и вымывают клубневые гнезда. Клубни в гребнях задыхаются из-за недостатка воздуха. Острый дефицит влаги снижает урожайность [4], [7].

В сложившихся условиях изучение условий формирования устойчивой среды, в которой будут развиваться растения картофеля, имеет весьма большую научную и практическую значимость. В связи с этим исследователи приступили к разработке новых технологий, способных нейтрализовать негативное воздействие засухи и избыточных осадков.

Обобщение результатов исследований, отражающих изменение водно-физических параметров почвы, свидетельствует о том, что на них оказывает существенное влияние, прежде всего, ширина междурядий. Если использовать при посадке растений более широкие междурядья, то увеличивается освещенность растений. Лучшая сохранность влаги в почве, высокая прогреваемость способствуют более раннему появлению всходов и удлинению вегетационного периода [6], [9].

Другие ученые отмечают, что наличие объемных гребней приводит к дополнительному иссушению почвы, усиливая дефицит продуктивной влаги. В условиях недостатка влаги использование менее широких междурядий при посадке оказалось более эффективным. При увеличении междурядья не происходит смыкания ботвы. Это приводит к интенсивному испарению влаги из почвы и, соответственно, к более сильному