

УДК 631.155.2:636

## СВЧ-ИНДУКЦИОННАЯ УСТАНОВКА С ДИАФРАГМИРОВАННЫМ ВОЛНОВОДОМ

### MICROWAVE INDUCTION UNIT DIAPHRAGMED WAVEGUIDE

**О. В. Науменко**

**O. V. Naumenko**

*ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Чебоксары*

**Аннотация.** Разработанная СВЧ-индукционная установка предназначена для термообработки творожного сыря. Описаны конструктивные особенности и принцип действия установки с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты.

**Abstract.** The developed microwave induction unit is designed for the heat treatment of raw curd. The article describes the design features and the principle of operation of a microwave induction unit of electromagnetic field of ultrahigh frequency.

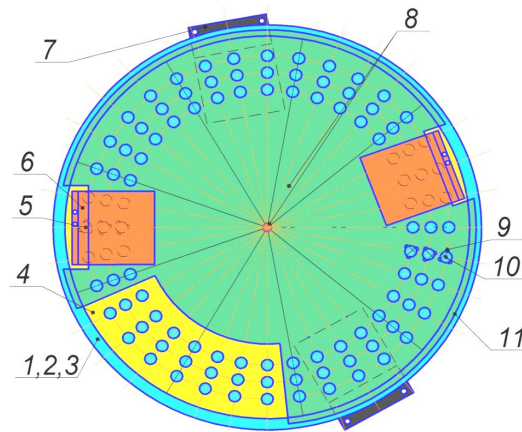
**Ключевые слова:** *сверхвысокочастотная индукционная установка, термообработка, волновод.*

**Keywords:** *microwave induction unit, heat treatment, waveguide.*

**Актуальность исследуемой проблемы.** С учетом диэлектрических параметров творожного сыря и глубины проникновения энергии электромагнитных излучений в творожное сырье обоснована технологическая схема его термообработки, предусматривающая многократный последовательный объемный и поверхностный нагрев. Для реализации данной технологии разработана СВЧ-индукционная установка для термообработки творожного сыря [2].

**Материал и методика исследований.** С учетом чередующихся разных видов энергоподвода вычислены продолжительность воздействия каждого источника, общая продолжительность процесса и скорость транспортирования сыря через рабочую камеру. СВЧ-индукционная установка условно разделена на пять секторов, в четырех из которых с чередованием установлены источники объемного и поверхностного тепла. При этом обеспечена определенная скважность технологического процесса, позволяющая стабилизировать температуру и давление по всему объему обрабатываемого сыря [3]. Для этого расстояние между источниками энергоподвода должно быть не меньше длины резонаторной камеры.

**Результаты исследований и их обсуждение.** СВЧ-индукционная установка (рис. 1) содержит диэлектрическую вращающуюся плоскость 4 со сквозными радиально расположенными отверстиями 5, позволяющими транспортировать диэлектрические контейнеры 9 с творожным сырем 10 через рабочую камеру, образованную двумя объемными резонаторами СВЧ-генератора 6 и вторичной обмоткой индукционного нагревателя 2.



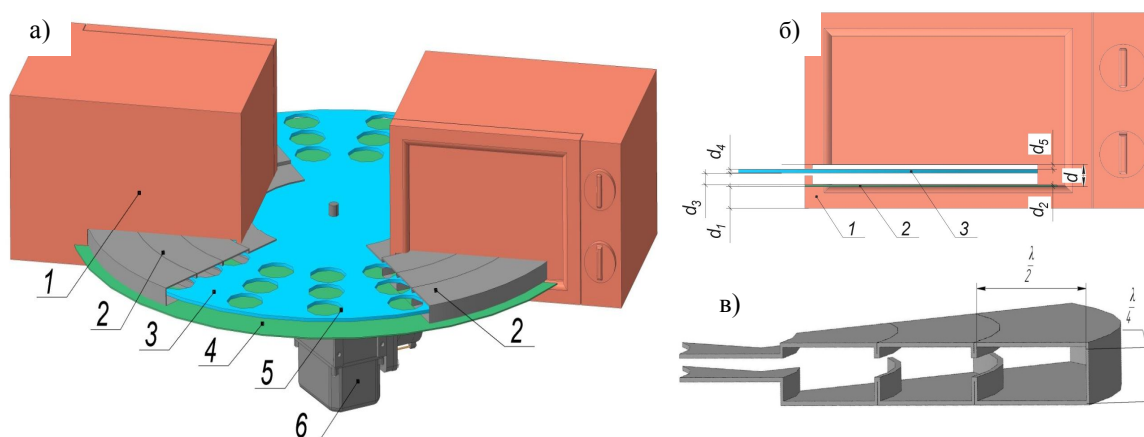
**Рис. 1. СВЧ-индукционная установка для термообработки творожного сыря (вид сверху при прозрачном экранирующем корпусе): 1 – монтажный каркас; 2 – круглый стол из ферромагнитного материала; 3 – ролики; 4 – круглая плоскость из диэлектрического материала; 5 – сквозные отверстия; 6 – СВЧ-генераторы; 7 – индукционные плиты; 8 – мотор-редуктор; 9 – силиконовые контейнеры; 10 – изделие; 11 – экранирующий корпус**

Под диэлектрической плоскостью 4 установлена круглая пластина 2 из ферромагнитного материала как вторичная обмотка индуктора. Под ней по периферии имеются индукционные нагреватели 7. Для загрузки и выгрузки продукта есть окно в экранирующем цилиндрическом корпусе 11. Вращение диэлектрической плоскости осуществляется мотор-редуктором 8.

Из-за зазора в резонаторной камере мощность потока электромагнитного излучения распространяется за ее пределами. Известно, что максимальную мощность волна несет в центре резонаторной камеры, где электрическая составляющая электромагнитного поля достигает наибольшего значения. В стенках камеры можно делать прорезы, но, чтобы через них не излучалась волна, необходимо соблюдать нижеприведенные правила. Прорезь не должна прерывать линий токов, текущих по стенкам объемного резонатора. В прямоугольном резонаторе токи направлены вдоль широких стенок. Поэтому прорезы могут быть в любом месте. Ширина прорезей  $d$  в прямоугольном резонаторе должна быть менее  $d < a/8$ , где  $a$  – ширина стенки для ограничения излучения. Например, если ширина резонаторной камеры 30 см, то  $d < 3,75$  см. Поэтому при конструировании прорезей  $d$  для конвейерного диска суммировали воздушные зазоры  $d_2$ ,  $d_5$ , толщину металлизированного диэлектрика  $d_4$ , выполняющего функцию транспортирования сыря, а также глубину цилиндрических контейнеров  $d_3$  (рис. 2).

Для ограничения излучения следует предусмотреть заградительный волновод. К радиоволноводам относятся различные устройства, вдоль которых могут распространяться электромагнитные волны. Эти волноводы в виде полых металлических труб различного поперечного сечения и затухания системы [4]. Вдоль волновода электромагнитные волны распространяются со скоростью, в несколько раз меньшей скорости света. Все электромагнитное поле заключено внутри волновода, поэтому нет потерь энергии на излучение.

С целью ограничения электромагнитного излучения из имеющихся прорезей в объемных резонаторах, предназначенных для транспортирования контейнеров с сырем, резонаторные камеры состыкованы с заградительным диафрагмированным волноводом (рис. 2).



**Рис. 2. Пространственное изображение: а) резонаторных камер с запердельными диафрагмированными волноводами: 1 – СВЧ-генераторы, 2 – запердельный диафрагмированный волновод, 3 – диэлектрический конвейер, 4 – монтажный стол, 5 – ячейки, 6 – мотор-редуктор; б) резонаторной камеры, содержащей зазор для дискового конвейера: 1 – дно резонаторной камеры, 2 – ферромагнитная плоскость, 3 – вращающаяся диэлектрическая плоскость; в) диафрагмированного волновода**

Конфигурация диафрагмированного запердельного волновода отличается от гребешковой замедляющей системы тем, что при равном шаге изменяется радиус расположения диафрагм [1]. Размер прорези в резонаторной камере согласован с длиной волны и высотой контейнеров, выбранных в соответствии с глубиной проникновения энергии электромагнитных излучений в творожное сырье [4].



**Рис. 3. Реальное исполнение запердельного волновода и резонаторных камер с запердельными диафрагмированными волноводами, обеспечивающими транспортирование творожного сыря в контейнерах, размещенных в ячейках диэлектрического конвейера**

Необходимость диафрагмирования запердельного волновода для замедления волны обоснована тем, что при его отсутствии происходит перегрев или выход из строя магнетрона второго генератора, предназначенного для увеличения производительности установки. Определена добротность резонаторной камеры (0,333) при присутствии в ней прорези для передвижения конвейера и при состыкованном с ней запердельном волноводе.

Запредельный волновод диафрагмирован с учетом соответствия требуемым показателям технологического процесса и соблюдения безопасной нормы электромагнитного излучения. Тем не менее, для продвижения конвейера с сырьем через запредельный волновод необходимо предусмотреть прорезь в его перегородках, и при этом конвейер должен быть выполнен из металлизированного диэлектрика.

Наличие электромагнитного излучения за пределами резонаторной камеры можно выявить косвенным способом. За счет исследования краевого потока мощности электромагнитного излучения творожное сырье сохраняет температурный режим за пределами резонаторной камеры (рис. 4).

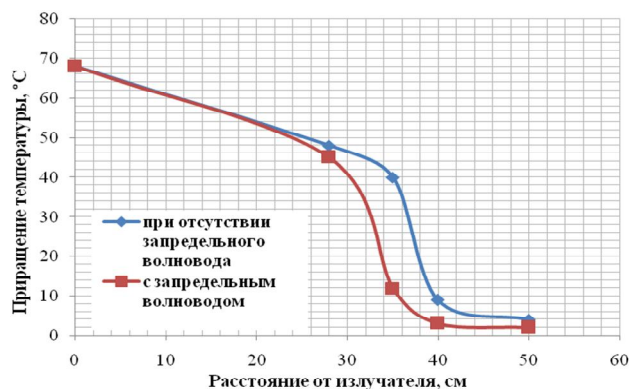


Рис. 4. Исследование приращения температуры сырая по мере удаления от источника в стационарном режиме

При этом приращение температуры творожного сырая внутри резонаторной камеры в стационарном режиме (до 28 см) составляет 68...48 °C, за ее пределами на расстоянии 40 см от источника – 3 °C, а на расстоянии 50 см – 2 °C, что свидетельствует о значительном снижении излучения при наличии пристыкованного к резонаторной камере запредельного диафрагмированного волновода.

**Резюме.** Разработана методика термообработки творожного сырая, реализованная в СВЧ-индукционной установке с рабочей камерой, образованной объемными резонаторами с запредельными диафрагмированными волноводами и индукционными нагревательными устройствами и расположенной под экранирующим корпусом. Обоснован диафрагмированный запредельный волновод, необходимый для замедления электромагнитных излучений и увеличения производительности установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники / Г. И. Атабеков, С. Д. Купальян, А. Б. Тимофеев, С. С. Хухриков. – М. ; Л. : Энергия, 1966. – 280 с.
2. Науменко, О. В. Обоснование применения СВЧ-индукционной установки для выпечки творожных изделий / О. В. Науменко // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2012. – № 2 (74). – С. 112–115.
3. Новикова, Г. В. Интенсификация высокочастотным электромагнитным полем технологических процессов в животноводстве : автореф. дис. ... д-ра тех. наук : 05.20.02 / Г. В. Новикова. – М., 1994. – 36 с.
4. Пчельников, Ю. Н. Электроника сверхвысоких частот / Ю. Н. Пчельников, В. Т. Свиридов. – М. : Радио и связь, 1981. – 96 с.