

DOI 10.54596/2958-0048-2024-3-150-154

УДК 621.365.5

МРНТИ 29.35.19

**МОДЕЛИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА ОБЪЕКТОВ****Риттер Е.С.<sup>1</sup>, Риттер Д.В.<sup>1\*</sup>, Зыкова Н.В.<sup>1</sup>, Умаров Н.<sup>1</sup>**<sup>1\*</sup> *НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева»  
Петропавловск, Казахстан**\*Автор для корреспонденции: [dritter@mail.ru](mailto:dritter@mail.ru)***Аннотация**

В статье рассмотрены модели СВЧ нагрева объектов. Одна из них представляет собой генератор СВЧ энергии, нагруженный на объемный резонатор, в котором размещают нагреваемый объект. Другая модель, наряду с СВЧ генератором, содержит распределительное устройство с выходами на ряд однонаправленных излучателей, в апертуре которых устанавливается облучаемый объект.

В статье рассматриваются особенности процесса взаимодействия объекта с полем волновода. Подробно излагаются режимы минимального переизлучения энергии и максимального поглощения энергии.

**Ключевые слова:** распределение поля, волновод, вибратор, антенная решетка, микроволновое облучение, генератор.

**НЫСАНДАРДЫ АСҚЫН ЖОҒАРЫ ЖИЛІКТІК ҚЫЗДЫРУ ҮЛГІЛЕРІ****Риттер Е.С.<sup>1</sup>, Риттер Д.В.<sup>1\*</sup>, Зыкова Н.В.<sup>1</sup>, Умаров Н.<sup>1</sup>**<sup>1\*</sup> *«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ  
Петропавл, Қазақстан**\*Хат-хабар үшін автор: [dritter@mail.ru](mailto:dritter@mail.ru)***Аңдатпа**

Мақалада жоғары биік жиілік қыздыру объектілері қаралған. Біріншісі жоғары биік жиілік энергиялық генераторы болып көрінеді, көлемді жүктемелі резистор, қайсында қыздыру объектілері орналастырылған. Басқа модель жоғары биік жиілік генераторы, бір беталыс қатарға шығу таратқыш құрылғы сәулетшіғарғыштары болады, қайсында сәулендіру объекті орнатылған.

Бұл мақалада объектінің өзара өріс толқын арнасының қимылының ерекше процесстері қарастырылған. Ең аз шашу энергиясы мен барынша сіңіру энергиясын режимдері анығырақ баяндалған.

**Кілт сөздер:** Өрістің таралуы, толқын өткізгіш, вибратор, антенна торы, микротолқынды сәулену, генератор.

**MODELS OF MICROWAVE HEATING OF OBJECTS****Ritter E.S.<sup>1</sup>, Ritter D.V.<sup>1\*</sup>, Zykova N.V.<sup>1</sup>, Umarov N.<sup>1</sup>**<sup>1\*</sup> *Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan**\*Corresponding author: [dritter@mail.ru](mailto:dritter@mail.ru)***Abstract**

In article models of the microwave oven of heating of objects are considered. One of them represents the generator of the microwave oven of the energy, loaded on the volume resonator in which place heated up object. Other model, along with the microwave oven the generator, contains the switching center with exits on a number of unidirectional radiators in which aperture the irradiated object is established.

In article it is considered features of process of interaction of object with a wave guide field. Modes of the minimum reradiation of energy and the maximum absorption of energy are in detail stated.

**Keywords.** Field distribution, waveguide, vibrator, antenna array, microwave irradiation, generator.

### Введение

Для обеспечения качественной сушки и нагрева различных диэлектрически объектов необходимо управлять распределением температуры в материале. Для этого необходимо обеспечить равномерное воздействие СВЧ энергией по всей длине облучаемого объекта.

Применение сверхвысокочастотной энергии в промышленности, медицине, сельском хозяйстве, в быту устанавливает ряд определенных требований на установки в зависимости от их назначения.

Очевидно, что создание новых способов возбуждения сверхвысокочастотного излучения, облучения объектов сушки, равномерного распределения электромагнитного излучения по длине облучаемого материала позволит в конечном итоге разработать более эффективные СВЧ сушилки.

### Материалы и методы исследования

На сегодняшний день применяют две модели облучения материалов с применением электромагнитных полей СВЧ диапазона. Первый вариант модели состоит из генератора СВЧ излучения, открытого резонатора и объекта воздействия (Рисунок 1).

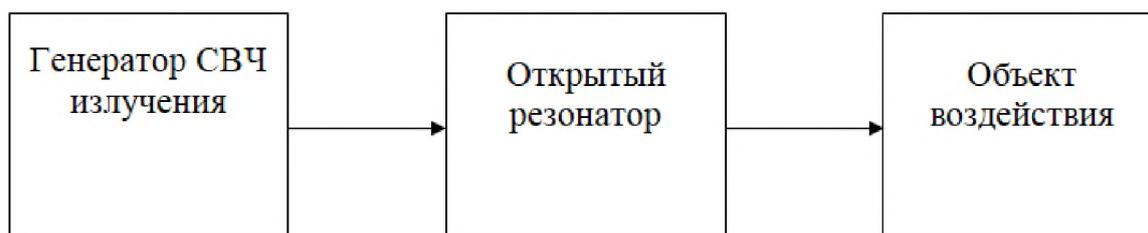


Рисунок 1. Первый вариант модели на основе открытого резонатора.

Представленная выше модель в основном используется в микроволновых печах бытового назначения. Таким образом, энергия от магнетрона поступает в объемный резонатор, который настроен на частоту магнетрона. Объект нагрева нагружает объемный резонатор, следовательно, уменьшается добротность резонатора, при этом происходит смещение частоты настройки [1].

Вследствие облучения объекта происходит рост температуры внутри объекта. Математически это представляется в следующем виде:

$$P \rightarrow E_p \rightarrow P_d \rightarrow Q \rightarrow (T_2 - T_1). \quad (1)$$

где  $(T_2 - T_1)$  – разность между конечной и начальной температурами.

Таким образом, выражение (1) показывает последовательность процесса нагрева и сушки диэлектрического материала с помощью электромагнитного поля СВЧ диапазона.

Из мощности  $P$ , вырабатываемой сверхвысокочастотным генератором, можно получить значение напряженности электрического поля  $E$ , которое создано в объемном резонаторе. Размещенный в резонаторе диэлектрический материал также выполняет функцию нагрузки объемного резонатора. Известно, что любой материал характеризуется удельной проводимостью  $\sigma$  и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Зная

массу материала и его теплоемкость, не сложно рассчитать температуру нагрева облучаемого объекта [2].

### Результаты исследования

Предлагаемая авторами модель состоит из магнетрона, устройства распределения и группы переизлучателей, в раскрытие которых размещается объект облучения.

Структурная схема данной модели представлена на рисунке 2.

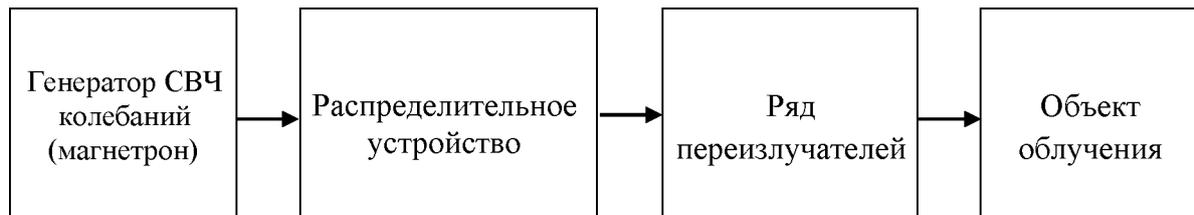


Рисунок 2. Модель облучения с применением распределительного устройства.

Вследствие облучения происходит распределение мощности СВЧ генератора на ряде переизлучателей. Математически это представляется в следующем виде:

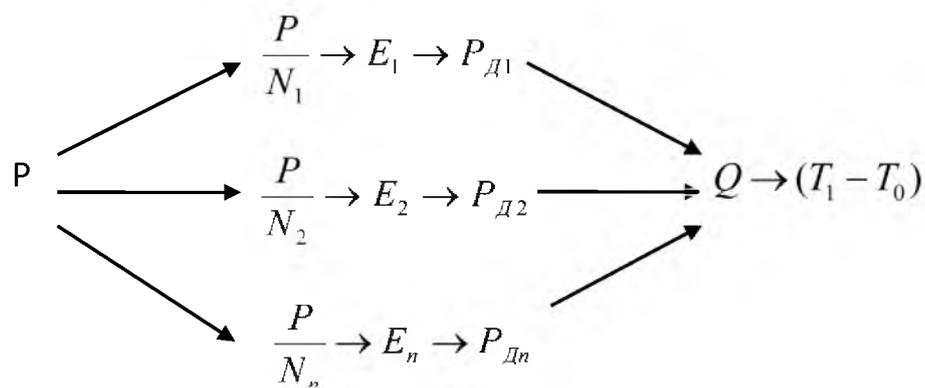


Рисунок 3. Математическая модель облучения с распределительным устройством

На рисунке 3 представлена математическая модель облучения диэлектрического объекта с распределительным устройством. Из представленной модели видно, что мощность, подводимая от генератора, распределяется между всеми переизлучателями, в совокупности образующих общую систему. После сверхвысокочастотного генератора установлена система распределения энергии (мощности), осуществляющая возбуждение каждого переизлучателя за счет определенной части энергии  $\frac{P_0}{N}$ . Подчеркнем, что мощность, подводимая от СВЧ генератора (магнетрона), делится между переизлучателями поровну [3, 4].

### Обсуждение

Каждый переизлучатель после возбуждения начинает сам переизлучать энергию электромагнитного поля. Так как переизлучатели являются однонаправленными, то в области, где сосредоточена вся переизлученная энергия, располагают нагреваемый материал. В облучаемом объекте каждый переизлучатель воздействует своим электромагнитным полем, т.е. в облучаемом объекте выделяется мощность  $P_{д1}, P_{д2} \dots P_{дn}$ . В конечном итоге поглощаемая объектом мощность трансформируется в тепловую

энергию  $Q$ . Важно отметить, что количество тепловой энергии  $Q$  является общим вкладом каждого переизлучателя. Для расчета температуры  $T_2$  необходимо знать массу облучаемого объекта, количество теплоты, время облучения, теплоемкость облучаемого объекта [5, 6].

В представленной выше модели облучения сделано несколько предположений:

Объект воздействия однороден;

Объект воздействия имеет небольшую толщину;

Воздействие электрического поля практически неизменно в объекте облучения;

Воздействие осуществляется плоской волной.

Напряженность электрического поля определяется формулой:

$$E^2 = \frac{60 \cdot P}{r_0^2 \cdot N}. \quad (2)$$

При сделанных допущениях расчет элементарного объема производится по следующей формуле:

$$dV \approx Sdr. \quad (3)$$

Следовательно, поглощаемая объектом мощность выражается формулой:

$$P_d = \varepsilon_a \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \omega \cdot S \cdot \frac{60 \cdot P}{r_0^2 \cdot N} \cdot h. \quad (4)$$

Тогда выделяемое тепло определяется формулой:

$$Q = \varepsilon_a \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \omega \cdot S \cdot \frac{60 \cdot P}{r_0^2 \cdot N} \cdot h \cdot t. \quad (5)$$

Разность температур между конечной и начальной температурой определяется формулой:

$$T_1 - T_0 = \varepsilon_a \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \omega \cdot S \cdot \frac{60 \cdot P \cdot h}{m \cdot c \cdot N} \cdot t, \quad (6)$$

где  $t$  – время облучения энергией электромагнитного поля.

### Заключение

Предварительная оценка практической реализации представленной выше модели показывает, что СВЧ установки данного типа крупногабаритные и дорогостоящие. Реализация только делителя мощности связана с определенными сложностями при использовании необходимых для нагрева мощностей.

**Литература:**

1. Михеенко, А.В. Геометрическая оптика: учебное пособие. – Хабаровск: ТОГУ, 2018. – 100 с.
2. Bualuang O., Onwude D.I., Pracha K. Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties. J. Sci. Food Agric. 2017, 97, pp. 2999–3004.
3. Зубова Р.А. Обоснование режимов предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар: КрасГАУ, 2017. – 141 с.
4. Риттер Е.С. Сверхвысокочастотная сушка древесины на основе однопроводной линии поверхностных волн: дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Петропавловск, 2021. – 118 с.
5. Риттер Е.С., Кисмерешкин В.П., Илимбаева Ж.А., Риттер Д.В. Комплекс антенн по технологии поверхностного волновода // Вестник Академии гражданской авиации. – Алматы, 2019. – №4. – С. 127–129.

**References:**

1. Mikheenko, A.V. Geometricheskaya optika: uchebnoe posobie [Geometric optics: tutorial]. – Khabarovsk: TOGU, 2018. – 100 p.
2. Bualuang O., Onwude D.I., Pracha K. Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties. J. Sci. Food Agric. 2017, 97, pp. 2999–3004.
3. Zubova R.A. Obosnovanie rezhimov predposevnoi obrabotki semyan s tverdoi obolochkoi ultrazvukom i elektromagnitnym polem sverkhvysokoi chastoty: Dis. kand. tekhn. nauk. [Substantiation of modes of pre-sowing treatment of seeds with a hard shell by ultrasound and electromagnetic field of microwave frequency. Cand. Sci. Technical) diss] – Krasnodar: KrasGAU, 2017. – 141p.
4. Ritter E.S. Sverkhvysokochastotnaya sushka drevesiny na osnove odnoprovodnoi linii poverkhnostnykh voln: dissertatsiya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D071900 – Radiotekhnika, elektronika i telekommunikatsii. [Ultrahigh-frequency drying of wood based on a single-wire line of surface waves: Diss. for the degree of doctor of philosophy (PhD) 6D071900 – Radio Engineering, Electronics and Telecommunications] – Petropavlovsk, 2021. – 118 p.
5. Ritter E.S., Kismereshkin V.P., Ilimbaeva Zh.A., Ritter D.V. Kompleks antenn po tekhnologii poverkhnostnogo volnovoda [Antenna complex based on surface waveguide technology] // Vestnik Akademii grazhdanskoi aviatsii. – Almaty, 2019. – no. 4. – pp. 127–129.

**Information about the authors:**

**Ritter D.V.** – Corresponding author, candidate of technical sciences, Professor of the Department of Energetic and radioelectronics, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [dritter@mail.ru](mailto:dritter@mail.ru);

**Ritter E.S.** – PhD, Associate Professor of the Department of Energetic and radioelectronics, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [nvzykova@ku.edu.kz](mailto:nvzykova@ku.edu.kz);

**Zykova N.V.** – master, Senior lecturer of the Department of Energetic and radioelectronics, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [esritter@ku.edu.kz](mailto:esritter@ku.edu.kz);

**Umarov N.** – student, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: [vizolna@mail.ru](mailto:vizolna@mail.ru).