

УДК 54.07

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСТАНОВОК ДЛЯ НЕТЕПЛОВОЙ  
МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ  
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА**

**DESIGN PROCEDURE OF INSTALLATIONS FOR NOT THERMAL  
UPDATING OF POLYMERS IN THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE  
SUPERHIGH-FREQUENCY RANGE**

Шулаев Н.С., Абакачева Е.М., Попова Е.В., Сулейманов Д.Ф., Жулаев А.С.  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,  
филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

N.S. Shulaev, E.M. Abakacheva, E.V. Popova, D.F. Sulejmanov, A.S. Zhulaev  
FSBEI NPE Ufa state petroleum technological university,  
branch in Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: elena-abakacheva@rambler.ru

**Аннотация.** В представленной работе приводится методика расчета установок для нетепловой модификации полимеров в сверхвысокочастотном поле, связывающая конструктивные особенности и технологические параметры с электрофизическими свойствами полимеров. Разработан аналитический метод расчета параметров данных СВЧ-устройств, который основан на выявляемой в ходе расчетов связи между удельной энергией СВЧ-излучения и степенью поглощения его покрытием, что позволяет оптимизировать объем энергии, поглощаемый полимерной пленкой.

Разработка новых моделей и методов расчета как самих СВЧ устройств, так и технологических процессов нагрева диэлектрических материалов является актуальной задачей в различных отраслях промышленности. Решение этой задачи позволит улучшить качество обрабатываемых материалов за счет высокого коэффициента полезного действия СВЧ устройств, объемного и равномерного характера нагрева, поднять на более высокий уровень показатели самих технологических процессов, характеризующихся экологической чистотой и отсутствием тепловой инерции.

**Abstract.** In the presented work the design procedure of installations for not thermal updating of polymers in the superhigh-frequency field, connecting design features and technological parameters with electrophysical properties of polymers is resulted. An analytical method for calculating the parameters of these microwave devices, which is based on calculations detectable during specific communications

between the microwave energy and the degree of absorption of its cover, which allows to optimize the amount of energy absorbed by the polymer film.

The development of new models and methods for calculating both the microwave devices, and process heating of dielectric materials is an important task in a variety of industries. [2] Meeting this challenge will improve the quality of processed materials due to the high efficiency of the microwave devices, volume and nature of the uniform heating, lift to a higher level of performance themselves technological processes with environmental cleanliness and lack of thermal inertia.

**Ключевые слова:** методика расчета, полимер, модификация, электромагнитное излучение.

**Keywords:** a design procedure, polymer, updating, electromagnetic radiation.

Современные тенденции в области термообработки диэлектрических материалов направлены на поиск новых высокоэффективных и экологически чистых технологий. Одним из таких направлений является использование в качестве источника тепла энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ энергии) [1]. При разработке СВЧ устройств (рисунок 1 и 2), предназначенных для технологических процессов термообработки диэлектрических материалов, используются свойства СВЧ нагрева: объемный характер, избирательность и чистота нагрева, высокий коэффициент преобразования СВЧ энергии в тепловую энергию.

Разработка новых моделей и методов расчета как самих СВЧ устройств, так и технологических процессов нагрева диэлектрических материалов является актуальной задачей в различных отраслях промышленности [2]. Решение этой задачи позволит улучшить качество обрабатываемых материалов за счет высокого коэффициента полезного действия СВЧ устройств, объемного и равномерного характера нагрева, поднять на более высокий уровень показатели самих технологических процессов, характеризующихся экологической чистотой и отсутствием тепловой инерции [3].

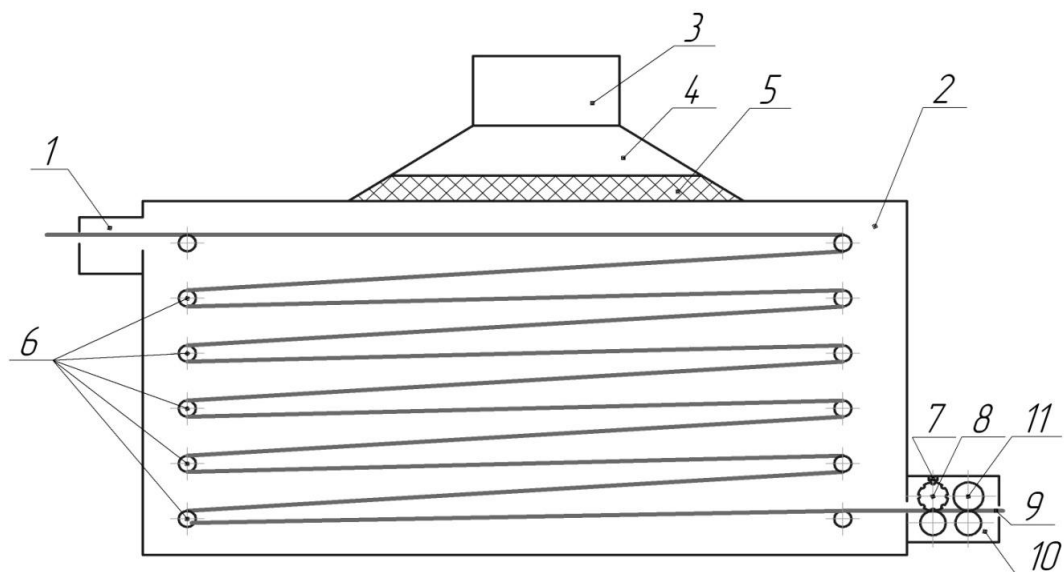


Рисунок 1. Многоходовая СВЧ-установка  
для модификации полимерных материалов

1 - загрузочное устройство; 2 - резонатор электромагнитного излучения; 3 - СВЧ-генератор; 4 - излучающая антенна; 5 - мембрана; 6,7 - направляющие керамические ролики; 8 - лента транспортера; 9 - цилиндрический рифленый барабан; 10 - каналы; 11 - полимерная лента подвергаемая модификации; 12 - узел выгрузки продукта; 13 - гладкий цилиндрический барабан

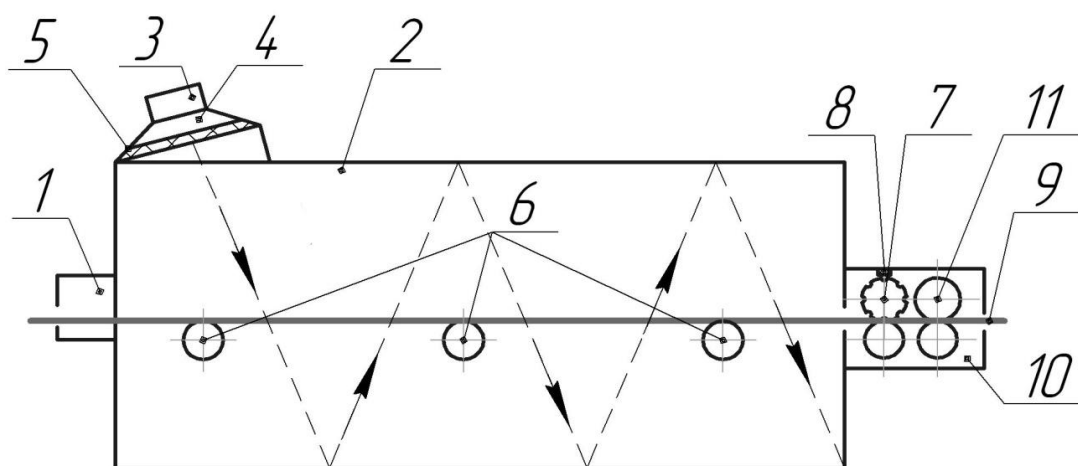


Рисунок 2. СВЧ-установка с антенной расположенной под углом к  
модифицируемой пленке

1 - загрузочное устройство; 2 - резонатор электромагнитного излучения; 3 - СВЧ-генератор; 4 - излучающая антенна; 5 - мембрана; 6,7 - направляющие керамические ролики; 8 - лента транспортера; 9 - цилиндрический рифленый барабан; 10 - каналы; 11 - полимерная лента подвергаемая модификации

Для изучения воздействия СВЧ-излучения на материал используется экспериментальная установка, состоящая из транспортирующей ленты и СВЧ-излучателя [4]. На транспортирующую ленту помещается исследуемый материал, который в процессе перемещения облучается СВЧ-излучением.

Оптимальную удельную энергию излучающей системы можно определить по известной удельной мощности облучения по формуле:

$$W_{уд} = P_{уд} \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $P_{уд}$  – оптимальная удельная мощность, кВт/кг;

$\tau$  – время экспозиции, с

Скорость протяжки ленты и мощность излучения для процесса модификации определяется производительностью установки.

$$v_k = \frac{G}{d \cdot b \cdot \rho}, \quad (2)$$

$$P = W_{уд} \cdot G, \quad (3)$$

где  $G$  – производительность, кг/с;

$d$  – толщина пленки, м;

$b$  – ширина пленки, м;

$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Количество отражений электромагнитного излучения или количество слоев полимерной пленки должно обеспечивать равенство суммарной толщины обрабатываемого материала и максимальной глубины проникновения электромагнитного излучения в материал, т.е. вся энергия СВЧ излучения поглощается обрабатываемым веществом, что позволяет исключить балластную нагрузку. Таким образом, оно равно:

$$N = \frac{\delta}{d}, \quad (4)$$

где  $\delta$  – максимальная глубина проникновения, м.

В случае, когда излучатель находится под углом к поверхности обрабатываемого материала, необходимо, чтобы выполнялось условие о смещении отраженного сигнала в излучающую систему. Это возможно только в том случае, когда отраженное излучение в продольном направлении превышает диаметр излучающей антенны. Высота камеры определяется как:

$$H = \frac{D}{2 \sin \alpha}, \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр антенны, м;

$\alpha$  – угол наклона антенны к модифицируемому материалу.

Длина камеры определяется как:

$$L_{\kappa} = N \cdot \frac{D}{2 \cos \alpha}, \quad (6)$$

Таким образом, работа установки определяется рядом следующих технологических параметров:

- Оптимальной удельной мощностью облучения  $P_{\text{уд}}$ , кВт/кг;
- Максимальной глубиной проникновения электромагнитного излучения в материал  $\delta$ , м;
- Временем экспозиции  $t$ , с;
- Углом наклона излучателя к поверхности обрабатываемого материала;
- Производительностью конвейера  $G$ , кг/с;
- Скоростью протяжки  $v$ , м/с;
- Мощностью магнетрона  $P$ , кВт;
- Количеством ходов пленки;
- Физическими размерами камеры: высотой  $H$  и длиной  $L_{\kappa}$ , м
- Параметрами исследуемого материала (пленки): толщиной  $d$ , м; шириной  $b$ , м; и плотностью  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>.

Для определения оптимальных показателей [5] создан программный продукт, позволяющий производить при задании начальных параметров вычисление всех необходимых параметров установки по эмпирическим формулам (1)–(6). Программа написана на языке программирования Microsoft Visual Basic 6.0.

Программа работает по приведенному ниже алгоритму (рисунок 3):

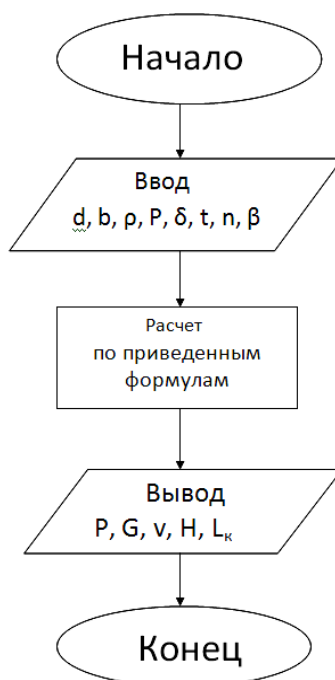


Рисунок 3. Алгоритм работы программы 1

Нам известны толщина пленки  $d$ , ширина пленки  $b$ , плотность материала  $\rho$ , время экспозиции  $t$ , удельная мощность облучения  $P_{уд}$ , максимальная глубина проникновения  $\delta$ , угол наклона излучателя и количество ходов пленки. После ввода исходных данных, программа производит расчет и выдает пользователю результаты.

Результаты расчета – мощность магнетрона  $P$ , скорость протяжки  $v$ , производительность  $G$  (в кг/с и т/ч), высоту и длину камеры. Оценив выходные данные, мы имеем возможность мгновенно изменить исходные значения.

Программа

Начальные данные

Введите толщину пленки, м

Введите удельную мощность, кВт/кг

Введите количество ходов пленки

Введите ширину пленки, м

Введите максимальную глубину проникновения, м

Введите плотность материала, кг/м<sup>3</sup>

Введите угол наклона излучателя (в градусах)

Введите время экспозиции, с

Результаты

Высота камеры: 28.649 м

Производительность равна: .5 кг/с

Длина камеры: .5 м

1.8 т/ч

Мощность магнетрона равна .5 кВт

Скорость равна .5 м/с

Расчет

Выход

Рисунок 4. Окно работы программы 1

## Выводы

По умолчанию число ходов равно единице, то есть если установка является одноходовой, то в поле можно ничего не вводить. Все результаты округляются до трех знаков после запятой.

## Литература

1. Архангельский Ю.С., Девяткин И.И. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. Саратов: Саратов. гос. ун-т, 1983. 140 с.
2. Гетерогенные каталитические промышленные процессы под действием электромагнитного излучения СВЧ диапазона / Р.Р. Даминев и др. М.: Химия, 2006. 134 с., илл.
3. Калганова С.Г. Электротехнология нетепловой модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле: дис....докт. тех. наук. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2009. 339с.
4. Сверхвысокочастотная электромагнитная установка для модификации полимерных пленок: пат. РФ на полезную модель № 118818 от 27.07.2012.
5. Абакачева Е.М., Попова Е.В., Фахразов А.Р. Создание интегрированной информационной среды нефтехимических и нефтегазовых производств на основе формализованного описания объектов // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18, № 1. С. 140-142

## References

1. Arhangel'skij Ju.S., Devjatkin I.I. Sverhvysohochastotnye nagrevatel'nye ustanovki dlja intensivikacii tehnologicheskikh processov. Saratov: Saratov. gos. un-t, 1983. 140 s. [in Russian].
2. Geterogennye kataliticheskie promyshlennye processy pod dejstviem jelektromagnitnogo izluchenija SVCh diapazona / R.R. Daminev i dr. M.: Himija, 2006. 134 s., ill. [in Russian].
3. Kalganova S.G. Jelektrotehnologija neteplovoj modifikacii polimernyh materialov v SVCh jelektromagnitnom pole: ds....dokt. teh. nauk. Saratov: Saratov. gos. tehn. un-t, 2009. 339 s. [in Russian].
4. Sverhvysohochastotnaja jelektromagnitnaja ustanovka dlja modifikacii polimernyh plenok: pat. RF na poleznuju model' № 118818 ot 27.07.2012. [in Russian].
5. Abakacheva E.M., Popova E.V., Fahrazov A.R. Sozdanie integrirovannoj informacionnoj sredy neftehimicheskikh i neftegazovyh proizvodstv na osnove formalizovannogo opisanija ob'ektov // Bashkirskij himicheskij zhurnal. 2011. T. 18, № 1. S. 140-142 [in Russian].

### Сведения об авторах

Шулаев Н.С. д-р.техн.наук, профессор, зав. кафедрой «Информатика, математика, физика», ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

N.S. Shulaev, Ph.D, professor, head of chair “Informatics, mathematics, physics”, FSBEI NPE USPTU, branch in Sterlitamak, Russian Federation

Абакачева Е.М., канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

E.M. Abakacheva, Ph.D, associate professor of chair “Petrochemical equipment”, FSBEI NPE USPTU, branch in Sterlitamak, Russian Federation

Фахразов А.Р., аспирант кафедры «Оборудование нефтехимических заводов» ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

A.R. Fakhrzov, postgraduate student of professor of chair “Petrochemical equipment”, FSBEI NPE USPTU, branch in Sterlitamak, Russian Federation

Попова Е.В., канд. техн. наук, доцент кафедры АТИС, ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

E.V. Popova, Ph.D, associate professor of chair ATIS, FSBEI NPE USPTU, branch in Sterlitamak, Russian Federation

Сулейманов Д.Ф., аспирант кафедры «Оборудование нефтехимических заводов» ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

D.F. Suleymanov, postgraduate student of professor of chair “Petrochemical equipment”, FSBEI NPE USPTU, branch in Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: elena-abakacheva@rambler.ru