

Проводим компиляцию программы и симуляцию работы микроконтроллера в соответствии с программой. При правильной работе схемы можно осуществить прошивку реального микроконтроллера.

Таким образом, компьютерное моделирование позволяет, используя программу Proteus, спроектировать и отладить работу схемы управления оборудованием на микроконтроллерах AVR. И только потом создавать реальное устройство.

#### **Список использованной литературы**

1. Матвеевко, И.П. Методика изучения микроконтроллеров AVR. / И.П. Матвеевко – «Информатизация образования», №2. – 2013. - С. 86–95.
2. Программирование в AVR Studio 5 с самого начала: [http:// data-gor.ru/microcontrollers/1787-programirovanie-v-avrstudio-5-s-nulya.html](http://data-gor.ru/microcontrollers/1787-programirovanie-v-avrstudio-5-s-nulya.html).

#### **УДК 004.4**

**Матвеевко В.В., к.ф.-м.н., доцент**

*Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники, г. Минск*

**Матвеевко И.П., к.т.н., доцент**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЧ СУШКИ МАТЕРИАЛОВ**

Одним из перспективных направлений в интенсификации процессов сушки всевозможных материалов является использование энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ), которая позволяет ускорить процессы сушки различных материалов. Это связано с тем, что СВЧ-энергию можно подвести непосредственно внутрь высушиваемого материала. Градиент давления пара, который создается внутри материала, резко ускоряет процесс сушки за счет выдавливания влаги из внутренних областей материала на его поверхность к границе, где наиболее эффективны конвективные процессы сушки.

Использование СВЧ-поля позволяет увеличить производительность сушки различных материалов, получить более равномерную просушку по всей толщине слоя, а также уменьшить энергозатраты. И все это благодаря полезным особенностям СВЧ-нагрева: вы-

сокая степень поглощения энергии влажных материалов и соответственно скорость роста температуры, бесконтактный избирательный нагрев неоднородных материалов, большой КПД, отсутствие инерции в подводе мощности и простота автоматизации процесса.

На сегодняшний день довольно детально разработана теория и предложены подходы к разработке математических моделей процессов сушки и нагрева влагосодержащих материалов при воздействии СВЧ-энергии. Однако разработка технологий процесса сушки требует экспериментального уточнения как теплофизических параметров, так и математических моделей процессов сушки для конкретных материалов.

Ввиду сложности происходящих при СВЧ сушке физических процессов, разработка математических моделей, с использованием которых возможно их эффективное моделирование на современных ЭВМ в настоящее время особенно актуально. В настоящей работе предложена удобная для расчетов одномерная модель, основанная на уравнениях из работ [1, 2].

Система трех безразмерных дифференциальных уравнений, описывающих процесс высушивания «тонкого» слоя материала приведена ниже:

$$\rho_T \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \Lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_e - q_{wp} \frac{\partial u}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_P P) = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_P \frac{\partial P}{\partial z} \right) - q_P \frac{\partial u}{\partial t}; \quad (2)$$

$$\rho_u \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D_w \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_w^T \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_w^P \frac{\partial P}{\partial z} \right). \quad (3)$$

Граничные условия запишем в виде ( $0 < z < 1$ ):

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0,1} = \pm \alpha_T^{0,1} (T|_{z=0,1} - T^{0,1}); \quad P|_{0,1} = 1;$$

$$\lambda_w \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=0,1} = \pm \alpha_u^{0,1} (u|_{z=0,1} - u^{0,1}).$$

Было необходимо разработать эффективный алгоритм решения сформулированной системы дифференциальных уравнений относительно основных определяющих параметров – температуры  $T$ , давления  $P$  и влагосодержания  $u$  пористого материала.

Для решения задачи используем метод сеток.

Выбираем равномерную по  $z$  и  $t$  сетку:

$$\omega_{h\tau} = \{z_i = i / n; i = 0..n; t_k = k\tau; k = 0..K\}$$

Используем неявную конечноразностную схему пересчета с предыдущего шага по времени на следующий.

При решении уравнений второго порядка на  $k+1$  – м слое по времени используем метод прогонки. Реализуется следующая последовательность вычислений:

1. Задаются начальные массивы, где  $T_0, u_0$  – начальные безразмерная температура и влагосодержание.
2. Пересчитываются все необходимые коэффициенты как функции от них.
3. Затем последовательно находится распределение температуры, давления и влагосодержания на  $k+1$  – м слое.
4. После чего процесс расчета повторяется на следующем шаге.

На рис.1 представлено в виде кривых рассчитанное изменение распределений основных параметров через равные интервалы времени в процессе высушивания влажного слоя.

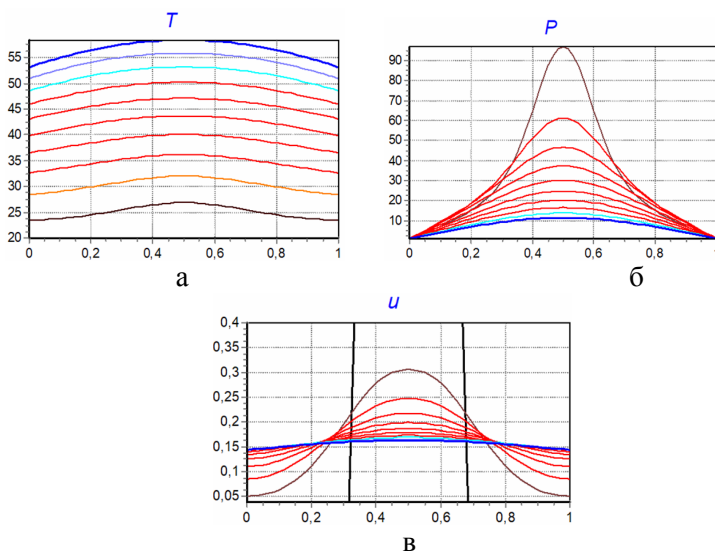


Рисунок 1 - Графики изменений температуры  $T$  (а), давления  $P$  (б), влагосодержания  $u$  (в) от времени

Такое моделирование позволяет выявить основные закономерности, происходящие при СВЧ сушке материалов и на основе сравнения с экспериментом уточнить значения определяющих теплофизических параметров.

#### **Список использованной литературы**

1. Кундас С.П., Гринчик Н.Н., Гишкелюк И.А., Адамович А.Л. Моделирование процессов тепловлагопереноса в капиллярно-пористых средах. – Минск. ИТМО НАН Беларуси. 2007. С. 292.

2. Кураев, А.А. Мощные электронные приборы СВЧ и КВЧ со специальными видами взаимодействия / А.А. Кураев, В.В. Матвеев. – Минск: Бестпринт, 2022. – 216 с.

**УДК 631.3-52**

**Мякинник Е.Е., ст. преподаватель,**

**Костикова Т.А., ст. преподаватель**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ MATLAB SIMULINK ДЛЯ СИНТЕЗА ПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Позиционные системы являются наиболее простыми и поэтому широко используются в сельском хозяйстве и других отраслях, в основном для управления температурными режимами, например, в инкубаторах, холодильных установках, сушильных агрегатах.

Характерной особенностью позиционных систем является наличие установившихся автоколебательных режимов работы и смещение значения регулируемой величины при изменении возмущающего воздействия, в том числе и автоколебательного процесса.

Показателями качества регулирования позиционных систем являются точность, частота автоколебаний, быстродействие и динамические отклонения в переходных режимах. Эти требования зачастую противоречат друг другу, поэтому задача синтеза носит системный характер и наиболее достоверно может быть решена путем компьютерного моделирования в среде MATLAB Simulink.