

составил для ячменя и кукурузы 1.2-1.3 раза. Это говорит о том, что при определенных уровнях содержания этих элементов в почве (не превышающих установленные ПДК, но различающихся по степени кислотности), выращиваемые растения могут накапливать эти элементы в количествах, превышающие допустимые уровни. Влияние гумуса выражено несколько слабее: повышение его содержания в почве с 1.8 до 2.5% (при адекватных значениях pH) снижало аккумуляцию Cd и Pb в среднем на 8-30%, в зависимости от степени загрязнения почв и особенностей культур.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ-ДАТЧИКОВ

М.А.Прищепов, к. т. н., И.Г.Рутковский, инженер(БАТУ)

Контролирование температуры при тепловой обработке термолабильных сред позволяет сэкономить 15-20% энергии. Электродный электронагреватель датчик (ЭЭН-Д) позволяет наряду с нагревом обрабатываемой среды проводить контроль ее температуры. ЭЭН-Д содержит три вертикальные плоскопараллельные электроды, два из которых меньшие, расположены вертикально один над другим, а третий напротив параллельно им, при этом меньшие электроды подключены к источнику питания. Параллельно источнику питания присоединены два последовательно соединенных сопротивления, одно из которых переменное, так что вместе с сопротивлениями обрабатываемой среды, находящейся между двумя меньшими электродами и третьим промежуточным электродом образован измерительный мост. Сигнал разбаланса моста снимается с промежуточного электрода и общей точки последовательно соединенных постоянного и переменного сопротивлений. При этом измерительный мост балансируется при начальной температуре обрабатываемой среды. При нагреве изменяются сопротивления плеч мостовой схемы, что приводит к разбалансу моста. На динамические характеристики ЭЭН-Д влияет изменение скорости перемещения обрабатываемой среды от температуры. Электротепловые процессы в ЭЭН-Д описываются следующей системой дифференциально-интегральных уравнений.

$$\frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = \beta \cdot g \cdot (\Theta_c - \Theta_{c.o.})$$

$$U_k = \sum_{k=1}^N \left( \left( \int_0^{L_k} \rho l(\Theta_c) dx \cdot \int_0^{L_k} H dx / \left( \int_0^{L_k} H dx \cdot l \cdot \frac{2}{x} \right) \right) \cdot U / R \right)$$

$$R = \sum_{k=1}^N \left( \int_0^{L_k} \rho l(\Theta_c) dx \cdot \int_0^{L_k} H dx / \left( \int_0^{L_k} H dx \cdot L_k^2 \right) \right)$$

$$C_p \cdot M \cdot (\Theta_{c.k} - \Theta_{c.o.}) = \eta \cdot \int_0^{\tau_k} I^2 \cdot R dt$$

$$\Delta U = U \cdot R_{np} \times$$

$$\times \frac{R1 \cdot R4 - R2 \cdot R3}{(R1 + R2) \cdot (R3 + R4) \cdot R_{np} + R1 \cdot R2 \cdot (R3 + R4) + R3 \cdot R4 \cdot (R1 + R2)}$$

$$R_M = \rho l(\Theta_c) \cdot H l (\Pi \cdot L_y)$$

где  $C_p$  - удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°C);  $\rho$  - плотность обрабатываемой среды, кг/м<sup>3</sup>;  $\Theta_{c.o.}$ ,  $\Theta_c$ ,  $\Theta_{c.k}$  - начальная, текущая и температура обрабатываемой среды по истечении времени  $\tau_k$ , °C;  $\tau$  - переменная по времени нагрева, с;  $\tau_k$  - время нагрева до заданной температуры, с;  $x$  - текущая координата длины электронагревателя, м;  $\Pi$ ,  $H$ ,  $L_k$ ,  $L_y$  - ширина электродов, межэлектродное расстояние, длина  $k$ -ой зоны электронагревателя и длина участка ЭЭН-Д которая составляет плечо мостовой схемы, м;  $\eta$  - коэффициент полезного действия ЭЭН-Д;  $v$  - скорость перемещения жидкости при конвекции, м/с;  $\beta$  - коэффициент объемного расширения, 1/°C;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $p$  - давление на выталкиваемые слои жидкости, Па;  $U$ ,  $\Delta U$ ,  $U_k$  - напряжение питания, в измерительной диагонали моста и на  $k$ -ой последовательно соединенной зоне, В;  $I$  - мгновенное значение полного тока электронагревателя, А;  $\rho l$  - удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м;  $R_k$ ,  $R$ ,  $R_{np}$ ,  $R1$ ,  $R4$ ,  $R2$ ,  $R3$  - сопротивления, соответственно, мгновенное значение  $k$ -ой последовательной зоны, полное электронагревателя, внутреннее измерительного прибора, постоянное и переменное мостовой измерительной схемы, термовзависимые участков ЭЭН-Д ( $R_M$ ), Ом.

Указанная система дифференциально-интегральных уравнений решалась методом конечных разностей на ЭВМ. Сравнение результатов расчета с экспериментом подтвердило высокую адекватность математической модели.