

изготовителями, или собирается ее организовывать, что привело к разобщению работ по созданию единой надежной многофункциональной, ремонтно-пригодной и эффективно действующей интеллектуальной системы.

В создавшихся условиях в республике целесообразно создание единого информационно-управляющего комплекса, который должен обеспечить функционирование АСКУЭ всех уровней.

**Зяц Е.М., д.т.н., профессор, Кардашов П.В., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

## **ЭЛЕКТРОТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ**

Продукты сельскохозяйственного производства растительного и животного происхождения (овощные и фруктовые соки, молочные сыворотки, растворы для выращивания микроорганизмов, влажные и увлажненные корма и др.) с определенной условностью можно объединить названием «органические дисперсные гидросистемы» (ОГС). С целью повышения эффективности использования питательного потенциала, интенсификации извлечения или образования полезных веществ, а также обеззараживания ОГС подвергают различным видам обработки: механической, термической химической, комплексной. В общем виде процессы между клеткой дисперсной частицы и жидкой фазой ОГС, скорость которых

$$g = K \exp \frac{G}{RT} S_{yo} (C^s - C^0), \quad (1)$$

где  $K$  – предэкспоненциальный множитель;  $G$  – энергия активации химической реакции;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура;  $S$  – удельная площадь реакционной поверхности;  $(C^s - C^0)$  – движущая сила процесса;  $C^s$  и  $C^0$  – концентрации активных ионов на поверхности мембраны клетки и в объеме раствора.

Традиционные технологии интенсифицируют процессы (1) изменением площади реакционной поверхности (например, измельчение материала), повышением температуры, увеличением концентрации активных ионов путем внесения химреагентов.

Одним из направлений углубления и снижения энергоемкости и обработки ОГС, по нашему мнению, является электротермохимическая обработка, основанная на изменении концентрации активных ионов и температуры путем пропускания электрического тока через среду, расположенную между электродами, разделенными ионопроницаемой мембраной. В этом случае от количества электричества зависит концентрация ионов в жидкой фазе среды и на поверхности частицы, а также ее заряд и потенциал.

Концентрация ионов в жидкой фазе определяется как

$$C^0 = C^{in} + \frac{q}{F}(\eta_a + \eta_c), \quad (2)$$

где  $C^{in}$  – начальная концентрация активных ионов в жидкой фазе;  $\eta_a + \eta_c$  – выход по току анионов и катионов, соответственно,  $q$  – количество электричества, протекающее через ОГС;  $F$  – число Фарадея.

Концентрация ионов на мембране клетки дисперсной частицы

$$C^s = C^0 \pm \frac{q\delta^2 \Delta n}{zFD\tau}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – толщина диффузионного слоя;  $z$  – заряд ионов;  $D$  – коэффициент диффузии ионов в растворе;  $\tau$  – время обработки;  $\Delta n$  – разность чисел переноса ионов в мембране и растворе.

В формуле (3) знак (+) соответствует концентрации анионов на анодной стороне и катионов на катодной стороне мембраны клетки, знак (–) – концентрация анионов на катодной стороне и катионов на анодной стороне клеточной мембраны.

Концентрация ионов в среде и на поверхности мембраны клетки влияет на заряд дисперсной частицы (4) и на потенциал ее поверхности (5).

Суммарная плотность поверхности заряда частицы

$$p_n = \frac{\rho_b C_{n+}^2 + K_a (\rho_b - \rho_a) C_{n+} - \frac{K_w K_a}{K_b} p_a}{C_{n+}^2 + \left( \frac{K_w}{K_b} + K_a \right) C_{n+} + \frac{K_w K_a}{K_b}}, \quad (4)$$

где  $\rho_a$  и  $\rho_b$  – плотность зарядов кислотной и основной групп, соответственно;  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $K_w$  – константы диссоциации кислотной, основной и водной групп, соответственно.

Потенциал на поверхности частицы

$$\varphi_n = \frac{\rho_n \cdot R_\mu}{2\varepsilon_c} I_n \left( \frac{h + \sqrt{R_\mu^2 + h^2}}{R_\mu} \right), \quad (5)$$

где  $\rho_n$  – суммарная плотность поверхностного заряда клетки, Кл/м<sup>2</sup>;  $R_\mu$  – радиус поры мембраны клетки, м;  $h$  – толщина стенки мембранной клетки, м;  $\varepsilon_c$  – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м.

Потенциал частицы (белковой молекулы, микробной клетки и др.) существенно влияет на поведение и развитие этих микрочастиц в электрическом поле. В наших работах (Дубодел И.Б, Заяц А.Е, Кардашов П.В, Кривовязенко Д.И, Янко М.В) показаны примеры технологического использования влияния электрического потенциала частиц на их взаимодействие при коагуляции коллоидных сред (6, 7), диффузию ионов через мембрану микробной клетки (8) при выращивании микроорганизмов.

Для двух сферических частиц энергия электростатического отталкивания

$$W_s = 16\varepsilon_c \varepsilon_0 \left( \frac{RT}{F} \right)^2 th \left( \frac{\varphi_0 z_i e}{4kT} \right) \frac{a}{S} \exp[\chi a(S-2)], \quad (6)$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м;  $\varepsilon_c$  – относительная диэлектрическая проницаемость коллоидной среды;  $R$  – газовая постоянная, Дж/моль·К;  $T$  – температура, К;  $\varphi_0$  – полный потенциал, В;  $z_i$  – валентность  $i$ -го иона;  $e$  – заряд электрона, Кл;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К;  $F$  – число Фарадея, Кл · моль<sup>-1</sup>;  $a$  – размер частицы, м;  $S$  – относительное расстояние между частицами;  $\chi$  – параметр Дебая – Гюккеля, м<sup>-1</sup>.

Энергия диполь – дипольного взаимодействия

$$W_d = -4\varepsilon_0 \varepsilon_c \left[ 0,5 - 3 \frac{ch \left( \frac{\varphi_0 z_i e}{2kT} \right) - 1}{4ch \left( \frac{\varphi_0 z_i e}{2kT} \right) + \chi_a} \right]^2 \left( \frac{a}{S} \right)^3 E^2, \quad (7)$$

где  $E$  – напряженность внешнего электрического поля, В/м.

$$D_\phi = D_0 \cdot e^{\left( \frac{-eF\varphi_n}{RT} \right)}, \quad (8)$$

где  $D_\phi$ ,  $D_0$  – коэффициент диффузии питательного вещества через мембрану клетки и в среде, м<sup>2</sup>/с;  $e$  – эмпирический коэффициент;  $\varphi_n$  – по-

тенциал на входе в пору мембраны клетки,  $B$ ;  $F$ - число Фарадея, Кл/моль;  $R$ - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $T$  – температура, К.

Применительно к органическим водным растворам основными активными ионами являются  $H^+$  и  $OH^-$ , которые и создают на поверхности клетки (частицы) группы кислотных и основных зарядов.

Минимальное, оказываемое мембраной сопротивление диффузии молекул и ионов из внешней среды в клетку и, следовательно, максимальная обработка будут иметь место, когда мембрана электрически нейтральна. В этом случае концентрации  $H^+$ ,  $OH^-$  и  $pH$  являются оптимальными:

$$C_{H^+OH^-} = K_a \left[ \frac{p_a - p_b}{2p_b} + \sqrt{\frac{(p_a - p_b)^2}{2p_b^2} + \frac{K_w p_a}{K_a K_b p_b}} \right], \quad (9)$$

$$pH_{opt} = \lg K_a + \lg \left[ \frac{p_a - p_b}{2p_b} + \sqrt{\frac{(p_a - p_b)^2}{2p_b^2} + \frac{K_w p_a}{K_a K_b p_b}} \right], \quad (10)$$

Примеч:

$$K_a = \frac{C_{H^+} C_{a^-}}{C_{H^+ a^-}}, \quad K_b = \frac{C_{OH^-} C_{b^+}}{C_{OH^- b^+}}, \quad K_w = \frac{C_{H^+} C_{OH^-}}{C_{H_2O}}, \quad (11)$$

где  $C_{H^+}$ ,  $C_{OH^-}$  – концентрация ионов  $H^+$  и  $OH^-$ , соответственно;  $C_{a^-}$ ,  $C_{b^+}$  – концентрации кислотного и основного продукта.

Оптимальное количество электричества для изменения ионного состава среды:

$$Q_{opt}^{c(a)} = \frac{dC_{c_i(a_j)}^{c(a)}}{\int_0^\tau n_{c_i(a_j)} d\tau} = \frac{\left( \frac{K_a K_w}{K_b} \pm C_{H^+}^{a_0(c_0)} \right) F \tau}{\int_0^\tau n_{c_i(a_j)} d\tau}, \quad (12)$$

где  $n_{c_i(a_j)}$  – число переноса катионов (анионов).

Количество энергии на изменение температуры среды находят общеизвестным расчетом. Распределение температуры в подвижной дисперсной гидросистеме определяется из уравнения теплопереноса

$$pC_p \frac{\partial T}{\partial t} + pC_p \vec{V} \nabla T = \nabla [\lambda \nabla T] + \gamma E^2, \quad (13)$$

с условиями начальными ( $T_{\tau=0} = T_0$ ) и граничными

$$\lambda(x, y, z) \Delta T = \alpha_1 (T_{env} - T),$$

где  $\lambda(x, y, z)$ ,  $\rho(x, y, z)$ ,  $C_p(x, y, z)$  – теплопроводность, плотность и теплоемкость обрабатываемого материала,  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи на границе,  $T_0$  – начальная температура обрабатываемого материала;  $T_{env}$  – температура окружающей среды;  $\vec{V}$  – вектор скорости,  $\gamma(T, x, y, z)$  – удельная электрическая проводимость материала;  $E(x, y, z)$  – напряженность электрического поля.

Совместное решение уравнений (1) – (13) позволит определить диапазон оптимальных значений параметров электрообработки ОГС. Следует отметить, что постановка задачи (1) – (13) является не полной, т.к. она должна быть дополнена уравнение электро- и гидродинамики для расчета вектора скорости и напряженности электрического поля с соответствующими начальными и граничными условиями. К сожалению, такая система в общем виде не имеет аналитического решения, поэтому точность рассчитываемых параметров будет устанавливаться применяемыми для решения численными методами.

Основными направлениями электротермохимической обработки могут быть: активация воды и водных растворов; обработка влажных кормовых материалов; выделение белков из сырья растительного и животного происхождения; очистки технологических сточных вод предприятий; регуляция биологической активности микрофлоры и др.

**Гируцкий И.И., д.т.н., доцент; Сеньков А.Г., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК**

Первые шаги в области автоматизации сельскохозяйственного производства относятся к началу второй половины прошлого века и были основаны на заимствованном из промышленности принципе «жесткой логики». Такие системы автоматизации поточно-технологических линий, например, в свиноводстве, были выполнены на релейно-контактной базе и не удовлетворяли требованиям реального производства.

Повышение конкурентоспособности сельскохозяйственного производства не в малой степени связано с использованием «информационного ресурса», компьютеризацией и роботизацией технологических процессов и установок [1,2]. Для их реализации идёт внедрение новых информационных технологий управления. Здесь еще нет устоявшейся терминологии,