АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-1-248-45-47

Н. В. Авдеев, С. И. Сакерин, А. С. Шатилов, Е. Г. Крылов

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ УСТАНОВКИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nikitaavdeev2@yandex.ru

Приведена разработанная математическая модель процесса очистки водных источников на базе электро-разрядной установки. В ходе работы были сопоставлены экспериментальные данные и результаты модели-рования. Расхождение между полученными данными составило не более 6 %.

Ключевые слова: электроэрозионная очистка, электроразрядные установки, компьютерное моделирова-ние, водоочистные установки.

N. V. Avdeev, S. I. Sakerin, A. S. Shatilov, E. G. Krylov

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF PURIFICATION OF WATER SOURCES ON THE BASIS OF ELECTRIC DISCHARGE INSTALLATION

Volgograd State Technical University

The developed mathematical model of the water source purification process based on an electric discharge in- stallation is presented. In the course of the work, experimental data and simulation results were compared. The dis- crepancy between the obtained data was no more than 6 %.

Keywords: electroerosive cleaning, electric discharge installations, computer modelling, water treatment plants.

Сегодня все более трудоемкой и актуальной задачей является очистка водных источников от загрязнений [1]. На данный момент исполь- зование электрической энергии в физико- химических методах очистки воды составляет основную концепцию новых методов. Одним из таких методов является метод очистки воды, базирующийся на электрической эрозии.

Целью данной работы является разработка математической модели процесса очистки вод- ных источников на базе электроразрядной ус- тановки.

По итогам проведенного анализа, были вы- делены три основные стадии протекания моде- лируемого процесса:

1) распространение электрических разрядов между металлическими шариками в межэлек- тродном пространстве бака-реактора водоочи- стной установки;

2) протекание процесса электрической эро- зии на поверхности металлических шариков и выброс продуктов эрозии;

3) протекание химических реакций окисле- ния и сорбции вредных примесей, содержащих- ся в очищаемом водном растворе.

Для создания системы управления электро- эрозионной водоочистной установкой необхо- дима математическая модель процесса как объ- екта управления. Для достижения желаемого результата были сформулированы основные входные и выходные переменные, разработана информационная модель электроэрозионной водоочистной установки как объекта управле- ния (рис. 1).

В качестве возмущающего воздействия вы- делена концентрация вредных примесей, со- держащихся в исходном водном растворе ($C_{\text{вх.рас.}}^i$), в качестве управляющей переменной выбрана частота ($f_{\text{имп.}}$), напряжение ($U_{\text{имп.}}$), и длительность ($t_{\text{имп.}}$) электрических импуль- сов, в качестве контролируемой переменной выбрана концентрация примесей ($C_{\text{обр.рас.}}^i$) и об- разующихся продуктов электрической эро- зии (C_{Fe}).

Рис. 1. Информационная модель электроэрозионной водоочистной установки как объекта управления

На рис. 1 приведены следующие обозначения:

$U_{\text{имп.}}$, $f_{\text{имп.}}$, $t_{\text{имп.}}$ – напряжение, частота и длительность электрических импульсов; $Q_{\text{вх.рас.}}$, $T_{\text{вх.рас.}}$ – расход и температура входного водного раствора; $C_{\text{вх.рас.}}^i$ – концентрация примесей во входном водном растворе; C_{H_2} – концентрация водорода в воздухе помещения, в котором работает установка; $C_{\text{обр.рас.}}^i$ и $C_{Fe}^{ЭЭО}$ – концентрация примесей и продуктов электрической эрозии в обработанном водном растворе; $Q_{\text{обр.рас.}}$, $T_{\text{обр.рас.}}$ – расход и температура обработанного водного раствора.

Ключевым требованием, которое предъяв-

ляется к математической модели электроэрозионного процесса очистки воды, является описание связей между переменными входа и выхода, с учетом динамики физико-химических процессов, происходящих в аппарате. На основании проведенного анализа процесса были выделены основные стадии протекания процесса и разработана информационная модель электроэрозионного процесса очистки воды как объекта моделирования (рис. 2).

Для разработки математической модели распространения электрических разрядов между металлическими шариками в межэлектродном пространстве был использован метод вероятностных клеточных автоматов.

Рис. 2. Информационная модель электроэрозионной водоочистной установки как объекта моделирования:

$N_{\text{раз.}}$ – количество разрядов, возникающих между металлическими шариками, погруженными в межэлектродное пространство установки; γ – электрическая проводимость водного раствора

Кинетика химических реакций окисления продуктов электроэрозии и осаждения примесей была описана системой дифференциальных

уравнений (представлена ниже), в соответствии с положениями, приведенными в работе [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dC_{\text{обр.рас.}}^i}{dt} = \frac{Q_{\text{обр.рас.}}}{V_{\text{в.р.}}} \cdot (C_{\text{вх.рас.}}^i - C_{\text{обр.рас.}}^i), \\ \frac{dC_{\text{Fe}}}{dt} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{ЭЭО}}}{dt} - \frac{Q_{\text{обр.рас.}}}{V_{\text{в.р.}}} \cdot C_{\text{Fe}}, \\ \frac{d\gamma}{dt} = \frac{C_{\text{обр.рас.}}^i}{k_{\gamma}}, \\ \frac{dm_{\text{Fe}}^{\text{ЭЭО}}}{dt} = 2 \cdot N_{\text{раз}} \cdot V_{\text{лун}} \cdot \rho_{\text{шар}}, \\ V_{\text{лун}} = 0,5 \cdot \pi \cdot R_{\text{лун}}^2 \cdot h_{\text{лун}}, \\ d_{\text{лун}} = (73,96 \cdot d_{\text{шар}}^2 - 930,1 \cdot d_{\text{шар}} + 3602) \cdot q_{\text{кан}}^{0,2309} + (27,16 \cdot d_{\text{шар}}^2 + 218,1 \cdot d_{\text{шар}} - 278,4), \\ h_{\text{лун}} = q_{\text{плав}} \cdot (c_{\text{шар}} \cdot (T_{\text{плав}} - T_{\text{шар}}) \cdot \rho_{\text{шар}})^{-1}, \\ q_{\text{плав}} = 4,45 \cdot k_{\text{эф}} \cdot q_{\text{кан}} \cdot (\pi \cdot R_{\text{лун}}^2)^{-1}. \end{array} \right.$$

Процесс формирования эрозионных лунок на поверхностях металлических шариков и выделения продуктов электрической эрозии был описан с помощью основных физических законов.

Представленная математическая модель реализована на базе пакета прикладных программ MatLab [3]. В ходе работы были сопоставлены экспериментальные данные и результаты моделирования, расхождение между которыми не превысило 6–8 %. Полученные результаты являются приемлемыми для дальнейшего использования разработанной математической моде-

ли при оптимизации энергозатрат электроэрозионного процесса очистки воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моделирование физических процессов в биореакторе / Д. Д. Ермишов, А. М. Макаров, Е. Г. Крылов, М. П. Кухтик // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 5 (200) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 62–66.
2. Nadezhdin I.S., Papasidero D., Goryunov A.G., Marenti F. Optimisation of EDM process for water purification // Chemical Engineering Transactions. – 2016. – Vol. 52. – P. 325–330.
3. Лазарев, Ю. Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Ф. Лазарев. – Санкт-Петербург : Питер; Киев : Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.