

УДК 621.355:541.135

В. В. НАЗАРОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТА С ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

В статье рассматриваются проблемы выбора критериев подобия для описания и моделирования выделения загрязняющих веществ при электрохимических операциях переработки из растворов электролитов с органическими добавками. Приведены результаты теоретических исследований по определению факторов, влияющих на интенсивность массопереноса из растворов электролитов, а также алгоритм определения критериев подобия процесса массопереноса из растворов с поверхностно-активными веществами. Представлен критерий подобия, отражающий косвенное влияние органических веществ в составе раствора на процесс выделения загрязняющих веществ и характеризующий совместное влияние на процесс массопереноса концентрации органической добавки и способности данного органического вещества к адсорбции/десорбции.

емиссия, выделение вредных веществ, электрохимические операции, раствор электролита, органические добавки, поверхностно-активные вещества, критерии подобия, моделирование

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Во многих технологических процессах применяются сооружения открытого типа (резервуары, ванны), в которых используются растворы веществ, загрязняющих воздух рабочей зоны и окружающую среду. Процессы, протекающие в электрохимических ваннах при свинцевании, никелировании, хромировании, меднении, электрорафинировании металлов характеризуются сложностью и вклад в формирование эмиссии вносит испарение, унос пузырьками газов, унос в объеме пузырьков (при перемешивании воздухом и выделении газов на электродах) [1–3]. Сложность протекающих процессов затрудняет их физическое моделирование и требует изучения и учета всех параметров, влияющих на выделение загрязняющих веществ.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В общем виде выделение загрязняющих веществ из раствора электролита может быть охарактеризовано как массоперенос, зависящий от параметров технологического процесса и свойств раствора. Сложность взаимосвязей технологических условий, параметров оборудования и физико-химических свойств будут определять гидродинамику процесса в электрохимической ванне, где имеют место двухфазные потоки (газ-жидкость). Гидродинамика, в свою очередь будет определять величины таких параметров как скорость потока (V_L), коэффициент массопереноса K_L , объемный коэффициент массопереноса $K_L a$, площадь поверхности контакта фаз (a), движущая сила процесса массопереноса (ΔC), газосодержание дисперсионной среды (ϵ), определяющие величину интенсивности выделения вредных веществ [4–6]. В критериальных уравнениях, описывающих процессы переноса в таких системах, для обеспечения подобия применяются критерий Re , критерий Вебера, критерий Шмидта и другие, учитывающие взаимное влияние на процесс массопереноса скорость течения жидкости и скорость всплытия и диаметр пузырька, плотность, вязкость, поверхностное натяжение [7–9].

Однако результаты проведенного теоретического исследования массообмена и других параметров двухфазных потоков в присутствии добавок органических веществ, в особенности ПАВ [10–11],

а также экспериментальной проверки [12] свидетельствуют о необходимости включения в критериальное уравнение, описывающее массообмен в присутствии различных органических добавок, критериями подобия, которые будут учитывать влияние ПАВ как на гидродинамику потока (изменение скорости всплытия пузырьков в присутствии ПАВ, время жизни пузырька, размер пузырька и т. д.), так и на процессы массопереноса, состояние межфазной границы, толщину пленки, химический состав пленки, уносимой в виде аэрозоля в результате капельного уноса). Согласно [4] в качестве параметров, учитывающих такое влияние, могут использоваться концентрация ПАВ (C), предельная адсорбция (Γ), константа адсорбции (K).

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На основании анализа литературных данных [4–6, 10–11], а также собственных исследований [12] были выбраны факторы, которые влияют на выделения вредных веществ при электрохимических операциях в случае, когда в состав рабочего раствора входят органические вещества.

Параметрами, которые характеризуют органические вещества, являются: поверхностное натяжение, (σ), кг/с²; предельная адсорбция вещества (Γ), моль/м²; постоянная адсорбции (K), м³/моль и концентрация органического вещества ($C_{ПАВ}$), моль/м³.

Для определения критериев подобия, описывающих влияние органических веществ, был использован метод анализа размерностей [13–14]. Для записи матрицы размерности расположим основные параметры в следующей последовательности в таблице.

Таблица – Матрица размерностей

	σ	U_b	ρ	μ	Γ	K	C	d
M	1	0	1	1	0	0	0	0
L	0	1	-3	-1	-2	3	-1	1
T	-2	-1	0	-1	0	0	0	0
n	0	0	0	0	1	-1	1	0

Примечание: σ – поверхностное натяжение; U_b – скорость; ρ – плотность; μ – вязкость; Γ – предельная адсорбция; K – константа адсорбции; C – концентрация ПАВ; d – диаметр пузырька. M – размерность массы; L – размерность длины; T – размерность времени; n – размерность количества вещества.

На основании представленных данных имеем ранг матрицы размерностей $\nu = 4$. При числе основных параметров $n = 8$ получаем число безразмерных комплексов $k = n - \nu = 8 - 4 = 4$.

Общее выражение для безразмерного отношения представим в виде степенного одночлена:

$$\Pi = \sigma^{X_1} \times U_b^{X_2} \times \rho^{X_3} \times \mu^{X_4} \times \Gamma^{X_5} \times K^{X_6} \times C^{X_7} \times d^{X_8}. \quad (1)$$

Пользуясь матрицей размерностей (табл.) определим размерность произведения:

$$\begin{aligned} \text{Dim}(\Pi) &= (M^1 \cdot L^0 \cdot T^{-2} \cdot n^0)^{X_1} \times (M^0 \cdot L^1 \cdot T^{-1} \cdot n^0)^{X_2} \times (M^1 \cdot L^{-3} \cdot T^0 \cdot n^0)^{X_3} \times \\ &\times (M^1 \cdot L^1 \cdot T^{-1} \cdot n^0)^{X_4} \times (M^0 \cdot L^0 \cdot T^0 \cdot n^1)^{X_5} \times (M^0 \cdot L^3 \cdot T^0 \cdot n^{-1})^{X_6} \times \\ &\times (M^0 \cdot L^{-1} \cdot T^0 \cdot n^{-1})^{X_7} \times (M^0 \cdot L^1 \cdot T^0 \cdot n^0)^{X_8}. \end{aligned} \quad (2)$$

С учетом свойств показательной функции:

$$\text{Dim}(\Pi) = M^{(X_1 + X_3 + X_4)} \times L^{(X_2 - 3X_3 - X_4 - 2X_5 + 3X_6 - X_7 + X_8)} \times T^{(-2X_1 - X_2 - X_4)} \times n^{(X_5 - 6 + X_7)}. \quad (3)$$

По условию безразмерности данного произведения показатели степени должны быть равны 0.

$$X_1 + X_3 + X_4 = 0.$$

$$X_2 - 3X_3 - X_4 - 2X_5 + X_6 - X_7 + X_8 = 0.$$

$$2X_1 - X_2 - X_4 = 0.$$

$$X_5 - X_6 + X_7 = 0.$$

Система имеет 4 уравнений с 8 неизвестными.

Для первого решения независимых безразмерных комбинаций выбираем

$$X_8 = X_4 = X_6 = X_7 = 0.$$

Для значения второго безразмерного комплекса Π_2 выбираем

$$X_6 = X_4 = X_8 = X_7 = 0.$$

Для третьего безразмерного комплекса Π_3 :

$$X_7 = X_4 = X_8 = X_6 = 0.$$

Для четвертого безразмерного комплекса П4:
 $X4 = X7 = X8 = X6 = 0$.

$$\Pi_1 = We = \frac{\rho U^2 d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\sigma}; \quad (4)$$

$$\Pi_2 = \frac{\rho U^2 K\Gamma}{\sigma}; \quad (5)$$

$$\Pi_3 = \frac{\rho U^2 C_{\text{ПАВ}}}{\sigma\Gamma}; \quad (6)$$

$$\Pi_4 = Ca = \frac{U_{\text{н\ddot{y}3}} \mu}{\sigma}. \quad (7)$$

В результате тождественных преобразований безразмерных комплексов получим следующие критерии подобия:

$$\Pi_2^* = \frac{\Pi_1}{\Pi_4} = Re = \frac{\rho U_{\text{н\ddot{y}3}} d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\mu}; \quad (8)$$

$$\Pi_3^* = \frac{\Pi_2}{\Pi_3} = \frac{K\Gamma^2}{C_{\text{ПАВ}}} \quad (9)$$

В результате получены четыре критерия подобия, учитывающие влияние поверхностно-активных веществ:

$$We = \frac{\rho U^2 d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\sigma}; \quad (10)$$

$$Ca = \frac{U_{\text{н\ddot{y}3}} \mu}{\sigma}; \quad (11)$$

$$Re = \frac{\rho U_{\text{н\ddot{y}3}} d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\mu}; \quad (12)$$

$$N = \frac{K\Gamma^2}{C_{\text{ПАВ}}}. \quad (13)$$

Можем записать:

$$Sh = a \cdot We^b \cdot Ca^c \cdot Re^d \cdot N^e, \quad (14)$$

где Sh – критерий Шервуда (Нуссельта диффузионного), характеризующий обмен вещества на границе фаз;

Re – критерий Рейнольдса, отношение сил инерции, действующих в потоке к силам вязкости;

We – критерий Вебера, характеризующий отношение сил инерции жидкости к поверхностному натяжению;

Ca – число капиллярности, отражает соотношение между вязким трением и поверхностным натяжением;

$N = \frac{K\Gamma^2}{C_{\text{ПАВ}}}$ – новый критерий, полученный впервые на основании анализа размерностей, характеризует зависимость между адсорбционной способностью ПАВ и концентрацией ПАВ в растворе.

ВЫВОДЫ

Получен критерий подобия, отражающий косвенное влияние органических веществ в составе раствора на процесс выделения загрязняющих веществ и характеризующий совместное влияние концентрации органической добавки и способности данного органического вещества к адсорбции/десорбции на процесс массопереноса. Предложенный критерий подобия может быть использован для моделирования процессов выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны из растворов электролитов с органическими добавками при перемешивании воздухом, а также при выделении газов на электродах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Use of Surfactants to Reduce Release of Nickel Aerosols during Nickel Electrolysis* Mining and Metallurgical Company «Norilsk Nickel», Mining and Smelting Research Centre [Текст] / A. I. Yuriev, A. G. Malysheva, A. V. Solonin and L. A. Bolshakov // Chemistry for Sustainable Development. – Norilsk (Russia), 2004. – Vol. 12, № 4. – P. 473–478.
2. Гасанов, В. М. Совершенствование процессов снижения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны при гальванической обработке металлических элементов на предприятии стройиндустрии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Гасанов В. М. – Ростов-на-Дону, 2004. – 126 с.
3. Исаева-Парцвания, Н. В. Выбросы вредных веществ при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторов в электролите на основе кремнефтористоводородной кислоты [Текст] / Н. В. Исаева-Парцвания, А. И. Сердюк, А. Б. Ступин // Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки. – Донецьк, 2005. – Вип. 2, част. 2. – С. 303–307.
4. Painmanakul, P. Analyse locale du transfert de matière associé à la formation de bulles générées par différents types d'orifices dans différentes phases liquides Newtoniennes: étude expérimentale et modélisation [Текст] : thèse de doctorat : Génie des procédés et de l'environnement / Painmanakul P. – I.N.S.A. de Toulouse, 2004. – 341 p.
5. Zhao, Wei-rong. Modeling of mass transfer characteristics of bubble column reactor with surfactant present [Текст] / Wei-rong Zhao, Hui-xiang Shi, Da-hui Wang // Journal of Zhejiang University SCIENCE. – 2004. – Vol. 5, № 6. – P. 714–720.
6. Painmanakul, P. Effect of different contaminants on the α -factor [Текст] / P. Painmanakul and G. Hébrard // Local experimental method and modeling Chemical Engineering Research and Design. – 2008. – Vol. 86, issue 11. – P. 1207–1215.
7. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : Учебник для вузов / Ю. И. Дытнерский. – 2-е изд. – М. : Химия, 1995. – 368 с.
8. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст] / Ф. Стренк. – Л. : Химия, 1975. – 384 с.
9. Кафаров, В. В. Основы массопередачи [Текст] / В. В. Кафаров. – 3-е изд. – М. : Высшая школа, 1979. – 439 с.
10. Rising bubble behavior in contaminated water with surfactant [Електронний ресурс] / Yoichiro Matsumoto, Touki Uda and Shu Takagi // European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2004, Jyväskylä, 24–28 July 2004 / P. Neittaanmäki, T. Rossi, S. Korotov, E. Oñate, J. Périaux, and D. Knörzer (eds.). – Jyväskylä, 2004. – P. 1–15. – Режим доступу : http://www.imamod.ru/~serge/arc/conf/ECCOMAS_2004/ECCOMAS_V2/proceedings/pdf/532.pdf.
11. Alves, S. S. Gas-liquid mass transfer coefficient in stirred tanks interpreted through bubble contamination kinetics [Текст] / S. S. Alves, C. I. Maia, J.M.T. Vasconcelos // Chemical Engineering and Processing. – 2004. – № 43. – P. 3–5.
12. Назарова, В. В. Проблемы моделирования и прогнозирования ингаляционного воздействия вредных веществ на рабочих при электрохимических операциях (на примере электрохимического метода утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов) [Текст] / В. В. Назарова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-6(86) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 139–144.
13. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) [Текст] / В. А. Веников, Г. В. Веников. – М. : Высшая школа, 1984. – 439 с.
14. Гухман, А. А. Введение в теорию подобия [Текст] / А. А. Гухман. – М. : Высшая школа, 1973. – 296 с.

Получено 07.10.2013

В. В. НАЗАРОВА

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З ПОВЕРХНІ ЕЛЕКТРОЛІТУ З ОРГАНІЧНИМИ ДОБАВКАМИ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглядаються проблеми вибору критеріїв подібності для опису та моделювання виділення забруднюючих речовин при електрохімічних операціях переробки з розчинів електролітів з органічними добавками. Наведено результати теоретичних досліджень з визначення факторів, що впливають на інтенсивність масопереносу з розчинів електролітів, а також алгоритм визначення критеріїв подібності процесу масопереносу з розчинів з поверхнево-активними речовинами. Представлено критерій подібності, що відображає непрямий вплив органічних речовин у складі розчину на процес виділення забруднюючих речовин і характеризує спільний вплив на процес масопереносу концентрації органічної добавки та здатності даної органічної речовини до адсорбції / десорбції.

емісія, виділення шкідливих речовин, електрохімічні операції, розчин електроліту, органічні добавки, поверхнево-активні речовини, критерій подібності, моделювання

VALERIYA NAZAROVA
DEFINITION OF SIMILARITY CRITERIA FOR MODELING THE EMISSION OF
HARMFUL SUBSTANCES FROM THE SURFACE OF THE ELECTROLYTE
WITH ORGANIC ADDITIVES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper deals with the problem of choosing the similarity criteria for the description and modeling of pollutant emissions in electrochemical processing operations from electrolyte solutions with organic additives. The results of the theoretical studies of the identification of the factors affecting the rate of mass transfer of the electrolyte solution, and the algorithm determining the similarity criteria for mass transfer from solutions surfactants have been presented. The similarity criterion, which reflects the indirect effect of organic substances in the solution to the pollutant emissions and characterizes the combined effect on the process of mass transfer of the organic additive concentration and the ability of organic matter to the adsorption / desorption has been presented

harmful substances emission, electrochemical operations, electrolyte solution, organic additive, surfactants, similarity criteria, modeling

Назарова Валерія Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка промислових відходів, зменшення викидів при електрохімічних операціях, розробка науково-обґрунтованих вимог до вибору і застосування засобів індивідуального захисту в будівництві.

Назарова Валерия Валериевна – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда, безопасности жизнедеятельности и гражданской защиты Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка промышленных отходов, уменьшение выбросов при электрохимических операциях, разработка научно-обоснованных требований к выбору и применению средств индивидуальной защиты в строительстве.

Nazarova Valeriya – PhD (Eng.), Associate Professor, Occupational Safety, Safety of Living and Civil Defense Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: industrial waste processing, emission reduction in electrochemical operations, development of scientific requirements for the selection and application of personal protective equipment.