

мікробної біомаси міститься 0,96 кг кормових одиниць, вона не виявляє токсичної, алергенної дії на організм тварин і може використовуватися як кормова домішка у тваринництві.

1. Кошель М.И., Каранов Ю.А., Заболотная Г.М. и др. Очистка сточных вод заводов, вырабатывающих хлебопекарные дрожжи // Обзорная информация. Серия 24. Вып.3. – М.: АГРОНИИТЭИПП, 1992. – 29 с.

2. Кошель М.И., Дудник А.А., Пухова Т.Н. Использование послеспиртовой барды в сельском хозяйстве. – К.: Госпищепром Украины, 1995. – 23 с.

3. Никитин Г.А. Метановое брожение в биотехнологии: Уч. пособие. – К.: Вища школа, 1990. – 207 с.

4. Кошель М.И., Каранов Ю.А., Заболотная Г.М. и др. Обезвреживание концентрированных сточных вод спирто-дрожжевых предприятий с получением кормового белкового продукта // Обзорная информация. Серия 24. Вып.6. – М.: АГРОНИИТЭИПП, 1990. – 28 с.

5. Кошель М.И., Каранов Ю.А., Заболотная Г.М. и др. Руководство по анализу сточных вод спирто-дрожжевых заводов. – К.: Харчова і переробна промисловість, 1994. – 65 с.

6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Звягинцева Д.Г. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 303 с.

7. Краткий определитель бактерий Берги / Под ред. Хоулга Дж. – М.: Мир, 1980. – 495 с.

*Отримано 10.12.2000*

УДК 628.349.08; 628.316.6

**В.П.ШПАЧУК, д-р техн. наук, Е.А.ЧЕРКАШИНА**

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

**А.И.ФЕДОРОВ, канд. техн. наук, С.Ю.ПУЧКОВ, М.С.ТЮТЮННИК,**

**В.М.ЛУКЬЯНОВ, З.П.ГИЛЬ**

*Институт проблем машиностроения им.А.Н.Подгорного НАН Украины, г.Харьков*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНО-ВИБРАЦИОННОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

Приведены результаты экспериментальных исследований электроимпульсно-вибрационного метода очистки сточных вод. Получены зависимости количества образующегося коагулянта от амплитуды  $A$  и частоты вибрации  $f$  днища корпуса реактора, массы загрузки  $m_3$ , эффективности очистки от параметра  $m_3$ . Установлена эффективность электроимпульсно-вибрационного метода по сравнению с чисто электроимпульсным.

Охрана окружающей среды от загрязнения и истощения сегодня является одной из важнейших научно-технических задач. В этой связи проблема очистки сточных вод промышленных предприятий приобрела большую актуальность.

Значительное количество высокотоксичных ионов тяжелых металлов содержит сточные воды гальванических производств, которые принадлежат к наиболее опасным загрязнителям окружающей среды. Основными компонентами таких сточных вод являются соединения

трех- и шестивалентного хрома [1].

В настоящей работе предложен перспективный метод очистки хромсодержащих сточных вод – электроимпульсно-вибрационный, который является дальнейшим развитием существующего чисто электроимпульсного [2]. Сущность его заключается в химическом восстановлении бихромат- и хромат-ионов ионами железа (II), образующегося в ходе электрообработки воды импульсным разрядом при внешнем вибрационном воздействии, параметры которого обеспечивают для гранул загрузки состояние “вibroкипящего слоя” [3]. Одновременно достигается осаждение  $Cr^{3+}$  в виде гидроокиси хрома.

Для определения оптимальных параметров электроимпульсно-вибрационной очистки проводили экспериментальные исследования на опытной установке, состоящей из электроразрядного реактора, генератора импульсов тока и вибровозбудителя. Через реактор, загруженный гранулированным металлом, прокачивается очищаемая вода. Гранулированный электропроводный материал загрузки реактора служит для получения коагулянта, эффективно очищающего воду. В качестве сырья для него использовали железорудный окатыш в количестве 300-900 г (диаметр окатышей 8-10 мм).

Исследования проводили в несколько этапов. Вначале определяли значения вибрационных факторов – амплитуды  $A$  и частоты  $f$  виброускорения днища реактора, при которых количество диспергируемого в водную фазу металла становилось максимальным.

На рис.1 представлены зависимости количества диспергируемого металла  $m_m$  от частоты вибрации  $f$  при силе тока  $I=1,5A$ , напряжении  $U=220V$  генератора импульсов и различных значениях амплитуды виброускорения днища реактора  $A_1=15 м/с^2$ ,  $A_2=20 м/с^2$ ,  $A_3=25 м/с^2$ .

Установлено, что максимальное количество металла диспергируется при  $f=20$  Гц и  $A=25 м/с^2$  (определим их как рабочие параметры вибрационного воздействия).

Далее при рабочих параметрах вибрационного воздействия ( $f^*$ ,  $A^*$ ) устанавливали зависи-

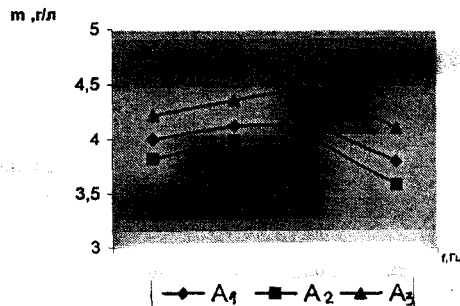


Рис.1 – Зависимость количества диспергируемого металла  $m$  от частоты вибрации  $f$

мость количества диспергируемого металла (коагулянта)  $m_k$  от массы загрузки реактора  $m_3$ . Аналогичные исследования проводили и для чисто электроимпульсного метода. Результаты этого эксперимента приведены на рис.2, где кривые 2,4 и 1,3 соответствуют электроимпульсно-вибрационному и электроимпульсному методам очистки. Исследования выполняли при различных значениях силы тока  $I$ , проходящего через реактор, и напряжении  $U=220В=const$  генератора импульсов.

На рис.2 показаны соответственно  $m_m$  г/л кривые 1,2, снятые при  $I=1,5А$ , а кривые 3,4 – при  $I=2А$ . Установлено, что при наложении вибрации слой металлической загрузки претерпевает ряд структурных изменений и приходит в состояние высокой подвижности, что

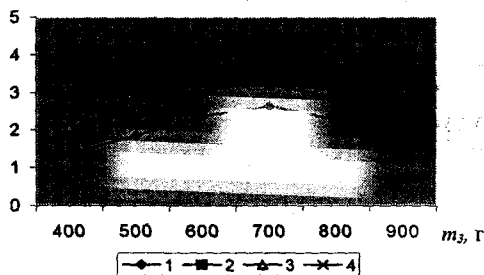


Рис.2 – Зависимость массы диспергируемого металла  $m_m$  от массы загрузки  $m_3$  реактора

характеризует его как “виброкипящий слой”. В результате достигается увеличение массы образующегося коагулянта, что обеспечивает большую степень очистки воды и высокую эффективность работы установки. Например, при массе загрузки  $m_3$ , равной 800 и 900 г, установлено увеличение массы диспергируемого металла в рабочую жидкость соответственно на 35 и 40% (см. кривые 3, 4 на рис.2).

На следующем этапе исследований определяли степень извлечения загрязняющих веществ из воды. В качестве объекта исследования использовали хромсодержащую воду, приготовленную из раствора бихромата калия, содержащую 30 и 88,3 мг/л хрома (VI) и имеющую  $pH=5-6$ . Устанавливали эффективность очистки воды от  $Cr^{6+}$  и  $Cr^{3+}$  чисто электроимпульсным и электроимпульсно-вибрационным методами в зависимости от массы загрузки реактора. Испытания выполняли при силе тока  $I=2,5А$ , напряжении  $U=220В$  генератора импульсов, амплитуде виброускорения днища реактора  $A=25 м/с^2$  и частоте

те колебаний  $f=20$  Гц. На рис.3 показана зависимость эффективности очистки воды от  $Cr(VI)$  от массы загрузки реактора (здесь кривая 1 соответствует чисто электроимпульсному, а кривая 2 – электроимпульсно-вибрационному методам очистки воды). При этом степень извлечения хрома (эффективность очистки) рассчитывали по формуле  $\alpha = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100\%$ , где  $C_0, C$  – концентрации хрома в растворе

до и после очистки, мг/л.

Анализ кривых 1,2 на рис.3 свидетельствует, что при одной и той же скорости прокачки воды через реактор электроимпульсно-вибрационный метод эффективнее электроимпульсного по показателю  $\alpha$  на 12% при  $m_3=900$  г. Установлено, что кривые  $\alpha(m_3)$  имеют в обоих методах макси-

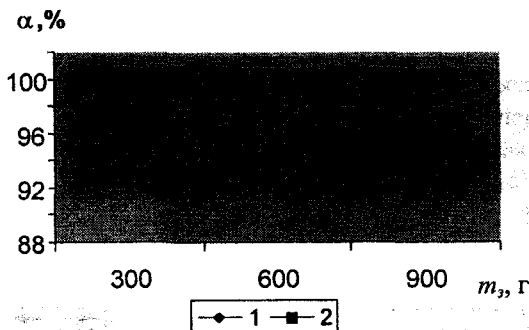


Рис.3 – Зависимость эффективности очистки  $\alpha$  от массы загрузки  $m_3$

мум при массе металлической загрузки реактора  $m_3=600$  г. Экспериментальные исследования также показали, что при малых концентрациях хрома в воде (до 40 мг/л) электроимпульсно-вибрационный и электроимпульсный методы имеют одинаковую эффективность. Объясняется это тем, что количество образующегося коагулянта в обоих случаях достаточное для протекания окислительно-восстановительных реакций. Однако при повышении концентрации хрома эффективность очистки электроимпульсно-вибрационным методом возрастает.

Приведенные на рис.2 результаты исследования показывают 40%ную эффективность электроимпульсно-вибрационного метода при  $m_3=900$  г по количеству диспергированного в рабочую жидкость реактора металла. Однако представленный на рис.3 эксперимент дает увеличение эффективности очистки на 12%. Обусловлено это, на наш взгляд, эффектом образования в общей массе диспергируемого в реакторе металла частичек железа в нейтральной форме ( $\alpha-Fe$ ). Таким образом, процесс управления реактором в технологических схемах очи-

стки сточных вод должен обеспечивать достижение условий диспергирования его загрузки в форме активного железа ( $Fe^{2+}$ ) для восстановления хрома ( $Cr^{6+}$ ). Управляющим воздействием при этом являются электрогидромеханические параметры реактора: напряжение  $U$ , сила тока  $I$ , длительность импульсов  $\tau$ , расход  $Q$ , частота  $f$  и амплитуда  $A$  виброускорения, масса материала загрузки  $m_3$ . Этим отличаются условия работы реактора по сравнению с режимами его функционирования в установках порошковой металлургии [4].

Анализируемую в эксперименте пробу очищенной воды на выходе из реактора объемом 200 мл фильтровали через бумажный фильтр, а затем фотоколориметрическим способом определяли остаточное содержание  $Cr^{6+}$  и  $Cr^{3+}$  по методике [5].

Экспериментальные исследования показали высокую эффективность электроимпульсно-вибрационного метода при очистке хромосодержащих стоков. Очищенная вода соответствует требованиям предельно допустимых концентраций для конкретных технологических процессов и может быть использована повторно.

Таким образом, высокая эффективность и универсальность электроимпульсно-вибрационного метода очистки сточных вод дает возможность использовать его в различных технологических процессах для удаления из воды сложных примесей загрязнений. Процесс характеризуется высокой скоростью, малоотходностью и экологической "чистотой". Это позволяет рассматривать электроимпульсно-вибрационный метод как один из базовых при создании систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

1. Солонецкий В.Г., Топилина О.Р., Гура В.М. Очистка сточных вод гальванических цехов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1987. – №1. – С.23-24.

2. Шпачук В.П., Черкашина Е.А., Луцик А.В., Левченко В.Ф. Особенности электроимпульсного метода комплексной очистки воды и промышленных стоков // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.21. – К.: Техника, 2000. – С.65-69.

3. Шпачук В.П., Черкашина Е.А., Луцик А.В., Левченко В.Ф. Электроимпульсно-вибрационный метод комплексной очистки воды и промышленных стоков // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.22. – К.: Техника, 2000. – С.131-136.

4. Левченко В.П., Гиль З.П. Электроимпульсный метод комплексной переработки материалов // Проблемы машиностроения. – 1992. – Вып.38. – С.78-86.

5. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. – М.: Химия, 1974. – 336 с.

Получено 10.04.2001