

## ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Степан Эпоян<sup>1</sup>, Сергей Мовчан<sup>2</sup>

1 – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Адрес: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

E- mail: vkg.knuca@ ukr.net.

2 - Таврический государственный агротехнологический университет

Адрес: 72310 Запорожская обл., г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 18

E-mail: movchantsaa@rambler.ru

**Аннотация.** На основе экспериментальных исследований оптимизации состава химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора, определены оптимальные режимы обработки сточных вод, пути снижения энергетических затрат и стабилизации эффективности обработки сточных вод

**Ключевые слова:** сточные воды, реагентная обработка, химические компоненты, оборотные системы водоснабжения, оптимальная доза, отработанный моющий раствор.

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем промышленного производства является поиск эффективных направлений интенсификации работы систем оборотного водоснабжения. Для систем промышленного водоснабжения это сводится к поиску рациональных схем использования воды, эффективной работы очистных сооружений и обеспечения экологически безопасных способов утилизации отходов промышленного производства. Последнее обстоятельство непосредственно зависит от использования в системах водоснабжения наиболее эффективных способов обработки сточных вод. Одним из направлений является использование реагентов для обезвреживания сточных вод отдельных видов промышленных предприятий.

Увеличение объёмов сбрасываемых сточных вод, недостаточно эффективная их обработка по основным загрязнителям имеет все основания для создания условий экологической угрозы. Всё это представляет серьёзные негативные последствия по отношению к окружающей среде.

Значительную часть в этом объёме сточных вод составляют воды гальванических производств, участков и линий промышленных производств. Только на предприятиях машиностроительного комплекса страны доля сточных вод с вышеперечисленных производств находится в пределах 30 - 50 % от общего объёма стоков, образующихся на этих предприятиях.

Поэтому разработка эффективных способов обработки сточных вод, загрязнённых ионами тяжёлых металлов, с использованием реагентов, представляет актуальность рассматриваемого направления исследований и составляет важное хозяйственное значение.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ.

Использование реагентов в системах оборотного и повторного использования воды в промышленном производстве не является новым. Реагенты, используемые для очистки и нейтрализации вредных компонентов в сточных водах промышленных предприятий, имеют преимущества, которые состоят в следующем. Во-первых, эффективно нейтрализуются агрессивные загрязнители сточных вод. Во-вторых, повышается степень интенсификации работы очистных сооружений. В- третьих, создаются условия для существенного сокращения капитальных вложений в систему очистки сточных вод. И, наконец, в четвёртых, уменьшается стоимость очистки за счёт рационального выбора реагентов и ведения реагентного хозяйства отдельных участках и цехах промышленных предприятий.

В химической технологии при очистке отдельных видов промышленных сточных вод в технологии водоснабжения используют более 30 видов различных реагентов. Некоторые из них используются в процессах коагуляции и флокуляции примесей с разной целью. Некоторые для увеличения скорости коагуляции, к которым относятся жидкое стекло и метасиликат натрия. Другие, такие как сода кальцинированная, используются с целью стабилизации процессов обработки. А такие, как каустическая сода, снижают уровень кислотности обрабатываемых сточных вод.

Известно применение электрохимических методов для обработки сточных вод от ионов тяжёлых металлов с использованием электродной системы титан – ОРТА (окисно – рутиниево - титановый анод) в кислой среде. Электролиз хромсодержащих сточных вод с пластинчатыми титановыми катодами и анодами ОРТА

показали, что в кислой среде при  $pH = 1,5 \dots 2,0$  при начальных концентрациях шестивалентного хрома  $6,4 \dots 80,0$  мг/л возможно его полное восстановление до трехвалентного хрома. Однако в этом случае возрастают удельные затраты электричества от 85 до 785 А час / г. [1,2].

В рассматриваемом способе восстановления шестивалентного хрома с одновременным использованием в бездиафрагменном электролизере двух вышеупомянутых электродных блоков в кислой среде в сравнении с использованием для этой цели обычной электрокоагуляционной обработки сточных вод сокращает почти вдвое количество образующегося в результате очистки осадка и в  $1,5 \dots 2,0$  снижает удельные затраты электричества. При осуществлении процесса в нейтральной среде удельные затраты электричества и осадка снижается в 1,3 раза [1].

Интенсификации процесса работы систем оборотного водоснабжения и увеличению степени очистки сточных вод способствует введение химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора и образующегося на данном производстве.

Известен способ регенерации отработанных кислых травильных растворов путем электролиза. С целью регенерации растворов, содержащих соляную, серную или азотную кислоту, с получением кислот концентрацией  $5 \dots 22\%$  и порошкообразных металлов, процесс проводят в трехкамерном электролизаторе с заполнением катодной камеры регенерируемым раствором, анодной камеры – кислотой, средней камеры выбранным катализом при плотности тока  $20 \dots 50$  А /  $dm^2$  до окончательного содержания металла в катодите  $1,5 \dots 15$  вес % [3].

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований является повышение степени очистки сточных вод с повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Оптимизировать состав химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора.
2. Исследование процесса обработки сточных вод с повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов.

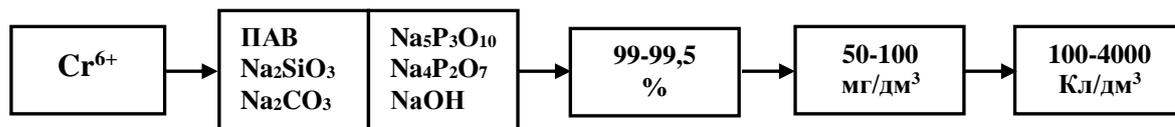


Рис. 1. Блок-схема определения химических компонентов отработанного моющего раствора к шестивалентному хрому

Fig. 1. A block diagram of certain chemical components cleaning solution to the hexavalent chromium

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Процессы очистки сточных вод с содержанием тяжёлых металлов при их обработке реагентами проводили в лабораторных условиях на действующем оборудовании. Определённый состав химических компонентов отработанного моющего раствора (ОМР) исследовали на их оптимальное соотношение и состав в определенном соотношении к шестивалентному хрому. Исследования проводили согласно блок-схеме, наведенной на рис.1. Эффективность очистки сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов проверяли в несколько стадий. В лабораторных условиях определяли количественный состав, соотношение и порядок введения химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора. Для проведения исследований использовали стоки гальванических отделений с широким диапазоном загрязнений: ( $Cr^{6+}$  до  $350$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Cr^{3+}$  до  $100$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Cu^{2+}$  до  $150$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Fe^{3+}$  до  $200$  мг/дм<sup>3</sup>) и содержанием ионов тяжёлых металлов на выходе:  $Cr^{6+}$  до  $0,01$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Cr^{3+}$  до  $0,1$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Cu^{2+}$  до  $0,11$  мг/дм<sup>3</sup>,  $Fe^{3+}$  до  $0,05$  мг/дм<sup>3</sup>).

Для исследований, направленных на стабилизацию эффективности очистки сточных вод, использовали следующие химические компоненты: поверхностно-активные вещества (ПАВ),  $NaOH:Na_2SiO_3:Na_4P_2O_7:Na_2CO_3:Na_5P_3O_{10}$  по их оптимальному соотношению к шестивалентному хрому ( $Cr^{6+}$ ). Состав химических компонентов ОМР оптимизован по их соотношению 1 на 4 (5 или 6) (табл. 1).

При концентрации химических компонентов ОМР: ПАВ:  $NaOH: Na_2SiO_3: Na_4P_2O_7: Na_2CO_3: Na_5P_3O_{10}$  меньше указанных значений (табл. 1) к весовой части  $Cr^{6+}$  степень очистки снижается за счёт создания плохих условий и уменьшения скорости флотации гидроксидов тяжёлых металлов [4].

В случае, когда концентрация химических компонентов ОМР:  $NaOH: Na_2SiO_3: Na_4P_2O_7: Na_2CO_3: Na_5P_3O_{10}$  больше указанных значений (табл. 1) к весовой части  $Cr^{6+}$  увеличивается пассивация электродной системы, что приводит к увеличению расхода электрической энергии [4,5].

Таблица 1. Результаты исследований в граничных условиях при оптимальных значениях с использованием химических компонентов в качестве отработанного моющего раствора  
 Table 1. Research results in the boundary conditions at the optimum values with the use of chemical components used as waste cleaning solution

Соотношение химических компонентов ОМР к шестивалентному хрому 1 в од. 4 (5, 6) на 1 в од 4 (5, 6)						Эффективность очистки стоков от ионов тяжёлых металлов, %			Техническое решение
ПАР	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	NaOH	Cr <sup>6+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	-	-	99,9	99,2	98,0	А.с. №1730045
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	-	-	100,0	99,5	98,5	А.с. №1730046
-	0,05...0,5	0,25...2,5	0,15...0,5	0,05...1,5	-	100,0	99,4	98,0	Пат. №9877А
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	0,05...0,5	0,05...0,5	100,0	99,6	98,5	Пат. №45347
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	0,05...0,5	0,05...0,5	100,0	99,2	99,5	Пат. №64255
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	0,15...0,5	0,05...0,5	100,0	99,6	99,5	Пат. № 97943

Зависимость степени очистки сточных вод (С%, %) от концентрации раствора, который добавляется в сточную воду (С, мг/дм<sup>3</sup>) наведен на рис. 2 [9,14].

Представленные зависимости (рис. 2) степени очистки сточных вод станкостроительного завода (г. Мелитополь, Запорожской области) характеризуются повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов (1- Cr<sup>6+</sup>= 180-200

мг/дм<sup>3</sup>; 2- Cr<sup>3+</sup>= 180-200 мг/дм<sup>3</sup>; 3- Fe<sup>3+</sup>= 180-200 мг/дм<sup>3</sup>). На рис. 3 представлены зависимости степени очистки сточных вод металлостамповочного завода (г. Пологи, Запорожской области), содержащие загрязнения на уровне: (1- Cr<sup>6+</sup>= 180-200 мг/дм<sup>3</sup>; 2- Cr<sup>3+</sup>= 180-200 мг/дм<sup>3</sup>; 3- Fe<sup>3+</sup>= 180-200 мг/дм<sup>3</sup>; 4- Al<sup>3+</sup>= 180-200 мг/дм<sup>3</sup>; 5- Zn<sup>3+</sup>= 180-200 мг/дм<sup>3</sup>).

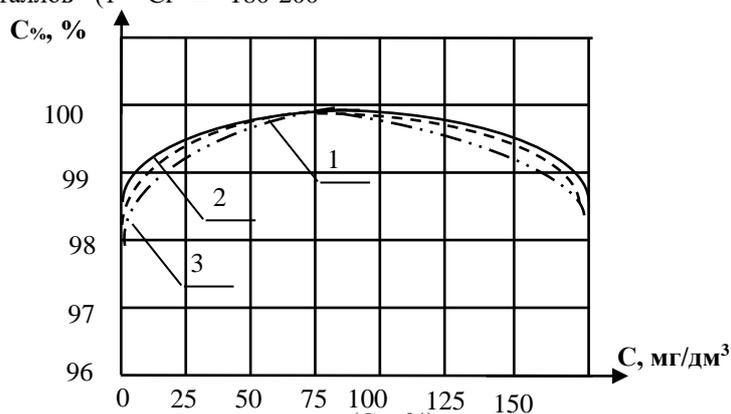


Рис. 2. Зависимость степени очистки сточных вод (С%, %) от концентрации раствора, вводимого в сточную воду (С, мг/дм<sup>3</sup>), при обработке стоков с повышенным содержанием следующих компонентов: 1- Cr<sup>6+</sup>; 2-Cr<sup>3+</sup>; 3-Fe<sup>3+</sup>

Fig. 2. The dependence of the degree of purification of waste water (C%, %) on the concentration of the solution introduced into the wastewater (C, mg / dm<sup>3</sup>), and working of effluents with a high content of the following components: 1-Cr<sup>6+</sup>; 2-Cr<sup>3+</sup>; 3-Fe<sup>3+</sup>

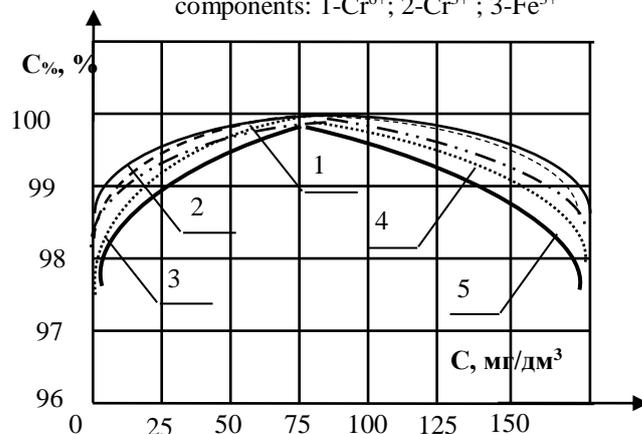


Рис. 3. Зависимость степени очистки сточных вод (С%, %) от концентрации раствора, который вводится в сточную воду (С, мг/дм<sup>3</sup>): 1- Cr<sup>6+</sup>; 2-Cr<sup>3+</sup>; 3-Fe<sup>3+</sup>; 4-Al<sup>3+</sup>; 5-Zn<sup>3+</sup>

Fig. 3. The dependence of the degree of wastewater purification (C%, %) on the concentration of the solution that is injected into the wastewater (C, mg / dm<sup>3</sup>): 1- Cr<sup>6+</sup>; 2-Cr<sup>3+</sup>; 3-Fe<sup>3+</sup>; 4-Al<sup>3+</sup>; 5-Zn<sup>3+</sup>

Оптимальное значение химических компонентов ОМР показывает эффективное значение обработки стоков в пределах 50-100 мг/дм<sup>3</sup>, что предупреждает пассивацию стальных электродов, создает условия для эффективного выделения гидроксидов тяжёлых металлов в пенный слой за счёт уменьшения хлопьев газовой фазы [4, 9].

При обработке стоков, концентрация которых менее 50 мг/дм<sup>3</sup>, предложенные способы не позволяют получить высокую степень их очистки вследствие снижения эффективности флотации гидроксидов тяжёлых металлов с пенным шаром, снижения величины рН гидратообразования и увеличения количества крупных хлопьев газовой фазы. Концентрация загрязнений становится критической, обработка стоков в ограниченном пространстве камер реакции аппаратов обработки сточных вод вот снижает эффективность их работы.

Дополнительными преимуществами использования в качестве реагентов химических компонентов ОМР является их повторное использование при определённом дозировании в систему очистки стоков. Использование определённых компонентов реагента создает условия для эффективной обработки сточных вод, стабилизации процессов обработки, а также нейтрализации гидроксидов железа и хрома, образующихся в этих процессах [5,14].

Важной составляющей технологического процесса обработки сточных вод является если не уменьшение, то оптимизация затрат электрической энергии, которая существенным образом влияет на стоимость обработки, нейтрализации и обезвреживания сточных вод гальванических отделений. С целью оптимизации затрат электрической энергии проводились исследования (рис. 4).

Степень очистки хромосодержащих сточных вод определяет эффективность процесса флотации и является определяющим фактором в работе электродной системы, от которой зависит пассивация стальных электродов [4,5,14,18].

Соотношение химических компонентов к Cr<sup>6+</sup> при их использовании для обработки сточных вод гальванических отделений на заявленном техническом уровне представлено на рис. 5:

Оптимальная доза химических компонентов ОМР, находящаяся в пределах 50-100 мг/дм<sup>3</sup> определяет величину затрат электрической энергии W, (кВт год./м<sup>3</sup>), которая определяется удельными затратами электрического заряда (Кл/дм<sup>3</sup>) рис. 6.

Зависимости степени очистки (С%, %) сточных вод с повышенным содержанием Cr<sup>3+</sup> от удельных затрат электрической энергии W, (кВт год./м<sup>3</sup>) и времени обработки стоков представлено на рис. 7 [14,15].

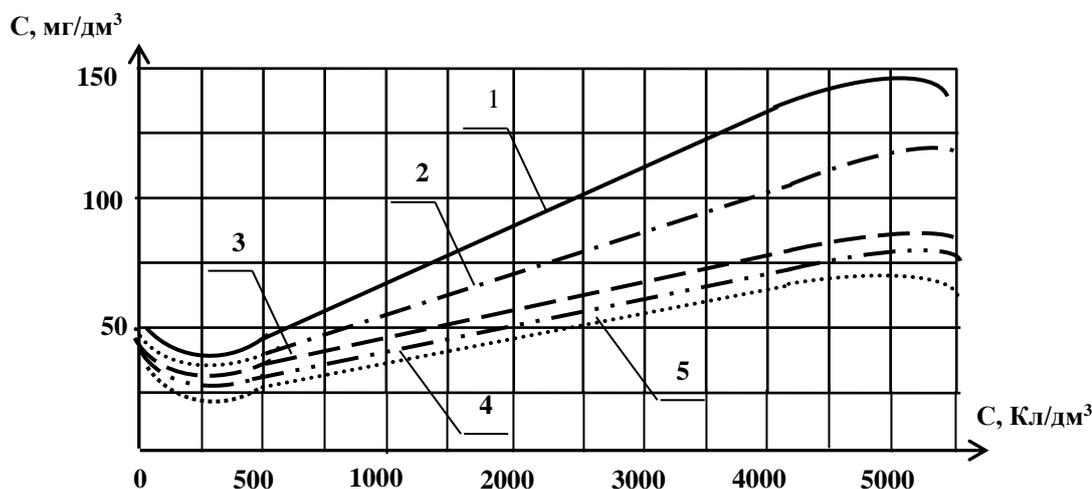
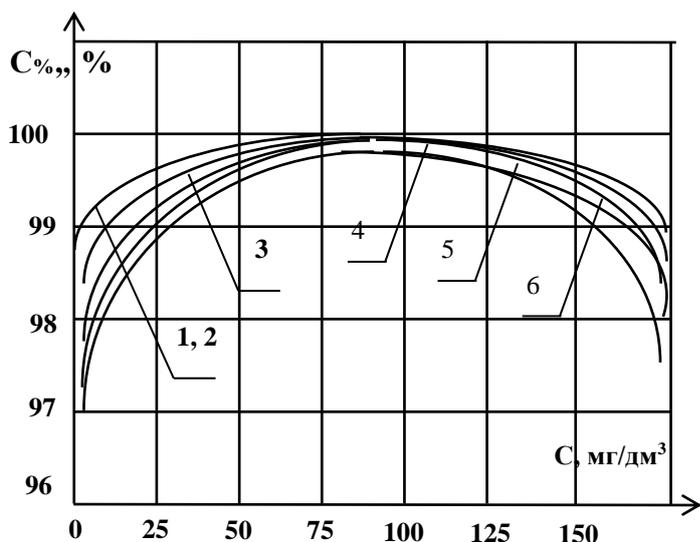


Рис. 4. Зависимости удельных затрат электрического заряда от концентрации химических компонентов и дозы отработанного моющего раствора. При обработке сточных вод, содержащих следующие компоненты: 1 – Cr<sup>6+</sup>; 2 – Cr<sup>3+</sup>; 3 – Fe<sup>3+</sup>; 4 – взвешенные вещества; 5 – поверхностно активные вещества

Fig. 4. Dependence of specific cost of the electric charge on the concentration the chemical components on the dose waste cleaning solution. In the treatment of wastewater containing the following components: 1 – Cr<sup>6+</sup>; 2 – Cr<sup>3+</sup>; 3 – Fe<sup>3+</sup>; 4 - suspended solids; 5 - Surfactants



1, 2 -  $\text{Cr}^{6+}$ :ПАВ: $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : $\text{Na}_2\text{CO}_3$ : $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ =  
:(0,05...0,5):(0,05...0,5):(0,25...2,5):(0,15...0,5):  
(0,05...0,5):(0,15...1,5).  
3 -  $\text{Cr}^{6+}$ : $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ : $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ =  
1:(0,05...0,5):(0,05...0,5):(0,25...2,5):(0,15...1,5).  
4 -  $\text{Cr}^{6+}$ :ПАВ: $\text{NaOH}$ : $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ : $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :  
 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ =1:(0,15...0,5):(0,05...0,5):(0,15...0,5):  
(0,15...0,5):(0,05...0,5):(0,05...0,5).  
5 - ПАВ: $\text{NaOH}$ : $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ : $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :  
 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  = 1:(0,15...0,5):(0,05...0,5):(0,15...0,5):  
(0,15...0,5):(0,05...0,5):(0,05...0,5).  
6 -  $\text{Cr}^{6+}$ :ПАВ: $\text{NaOH}$ : $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ : $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :  
: $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  = 1 : (0,15...0,5): (0,05...0,5):  
:(0,15...0,5):(0,15...0,5):0,05...0,5):(0,05...0,5)

Рис. 5 Эффективность обработки сточных вод в соответствии с оптимальной величиной концентрации химических компонентов, отработанного моющего раствора (50-100 мг/дм³) при использовании предложенных технических решений: 1 и 2, 3, 4, 5 та 6

Fig. 5. The effectiveness of treating wastewater in accordance with the optimum value of concentration of chemical components waste cleaning solution (50-100 mg / dm³) using the proposed technical solutions: 1 and 2, 3, 4, 5 and 6

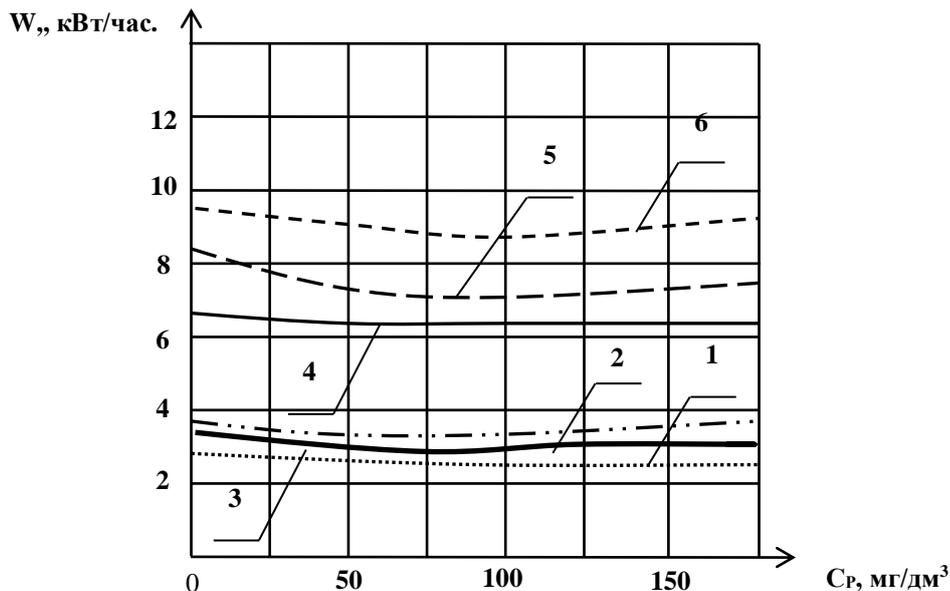


Рис. 6 Зависимости удельных затрат электрической энергии W, (кВт ч)/м³ от дозы отработанного моющего раствора (мг/дм³) и удельными затратами электрического заряда (Кл/дм³): 1 - 500 2 - 600, 3 - 1000, 4 - 2000; 5 - 4000; 6 - 5000

Fig. 6. Dependence of specific cost of electric energy W, (kW a year.) / m³ of waste cleaning solution dose (mg / dm³) with a unit cost of electric charge (C / dm³): 1 - 500 2 - 600 3 - 1000 4 - 2000; 5 - 4000; 6 - 5000

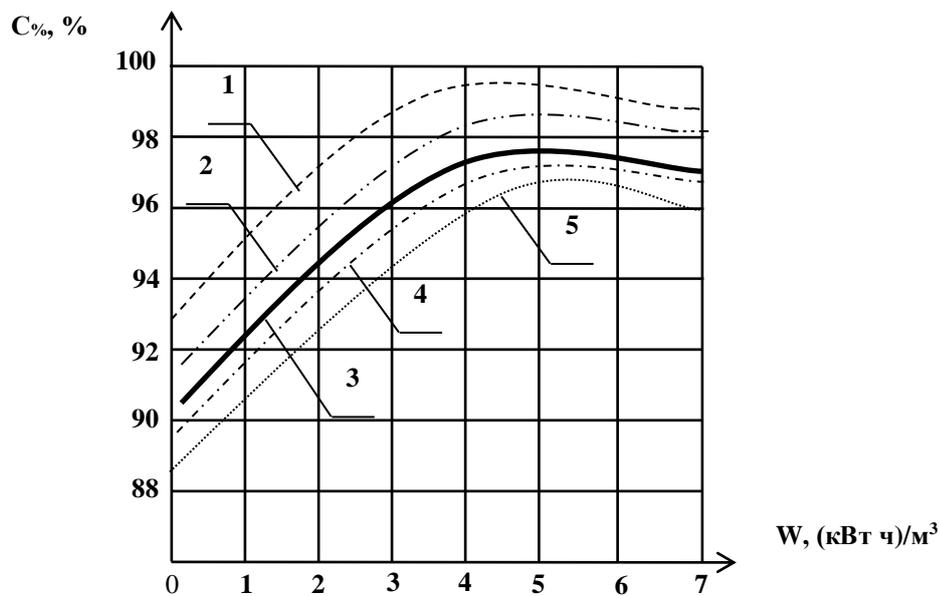


Рис. 7 Зависимости степени очистки ( $C\%$ , %) сточных вод с содержанием  $Cr^{3+}$  при удельных затратах электрической энергии  $W$ , ( $кВт ч$ )/ $м^3$  и времени обработки стоков:

1 – время обработки 6000 с; 2 – 1000 с; 3 – 1200 с; 4 – 1800 с

Fig. 7. Depending purity ( $C\%$ , %) wastewater containing  $Cr^{3+}$  in unit cost of electric power  $W$ , ( $KW a year.$ ) /  $m^3$  of wastewater and processing time: 1 - processing time 6000 c; 2 – 1000 c; 3 – 1200 c; 4 – 1800 c

С представленных зависимостей (рис. 7) наглядно видно, что наибольшей степени извлечения  $Cr$  (III) на уровне 99,96% достигается при удельных затратах электрической энергии 2,83 ( $кВт. ч/м^3$ ) и времени обработки сточных вод 5600 с (чуть меньше 10 минут). При времени обработки стоков 4200 с степень их очистки находится на уровне 99,6%, при этом затраты электроэнергии составили 3,28 ( $кВт ч/м^3$ ) [9,14,15].

Ещё одним существенным преимуществом использования разработанных способов обработки сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов, является получение незначительного объёма осадков. В сравнении с известными способами достигается уменьшение в 2,0-2,6 раза, что объясняется эффективностью про-

цесса выделения гидроксидов флотацией. Сравнительные показатели образования флотошлама представлены в табл. 2 [16].

Использование химических компонентов в нескольких технических решениях позволяет их упрощённая схема использования на очистных сооружениях и действующих системах оборотного водоснабжения. Осуществляется это за счёт разделения потоков сточных вод в ситеме водоотведения: промывные воды и кислые (щелочные) электролиты обезвреживания. Использование предлагаемых химических компонентов расширяет функциональные возможности оборудования в широком диапазоне и объёмах сточных вод, загрязнённых ионами тяжёлых металлов [4,9,18].

Таблица 2. Сравнительные показатели предложенных способов обработки сточных вод, при образовании объёмов осадков и флотошлама

Table 2. Comparable figures of proposed methods of treating wastewater, In the formation of sediments volume and formation of flotation sludge

Способ очистки и обезвреживания сточных вод	Объём осадка, $м^3$	Объём флотошлама, $м^3$	Концентрация, $мг/л$			Добавки, которые используются
			Хром VI	Хром III	Железо III	
А.с. № 1730045, А.с. № 1730046	4,0	0,5	0,01	0,5	0,8	«Лобомид - 203» ТУ - 38107-38-73
Пат. № 9877А	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»
Пат. № 45347	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»
Пат. № 64255	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»
Пат № 97943	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»

Примечание: 1. Хромсодержащие сточные воды содержат  $Cr^{6+} = 50 \text{ мг/дм}^3$ ;  $Cl^- = 180 \text{ мг/дм}^3$ . 2. Значение  $pH = 5,5$ ; 3. Количество взвешенных веществ составило  $117 \text{ мг/дм}^3$ . 4. Удельные затраты электрического тока  $4,5 \text{ кВт} - \text{год/м}^3$ . 5. В качестве добавок апробировано использование СДБ – ОСТ 13 – 183 – 83.

Кроме того, повторное использование химических компонентов ОМР существенно увеличивает экономичность процесса обработки сточных вод с содержанием тяжёлых металлов [5,10,14].

Необходимо отметить, что разработанные способы обработки сточных вод имеют некоторые ограничения, которые состоят в использовании концентрации химических компонентов ОМР менее 50 мг/дм<sup>3</sup> и более 100 мг/дм<sup>3</sup>. Отклонения от определённого диапазона химических компонентов, проведение процесса электролиза менее 600 Кл/дм<sup>3</sup> и 4000 Кл/дм<sup>3</sup>, что определяе-

тся конкретными условиями использования каждого технического решения.

В таблицах 3 и 4 наведена эффективность очистки сточных вод гальванического производства с использованием поверхностно-активных веществ в начале процесса обработки и времени, используемого в технологической операции [18].

Показатели образования пенного продукта, взвешенных веществ и других легких примесей в зависимости от времени его накопления и затрат электрической энергии представлены в табл. 5 [5,18].

Таблица 3. Эффективность очистки сточных вод от времени проведения процесса очистки

Table 3. The effectiveness of wastewater treatment from the time of the cleaning process

№ п / п	Реагент	Время перед предыдущим введением реагента, мин.	Час введения (работы) реагента, мин.	Эффективность очистки сточных вод, %		
				Ионы тяжёлых металлов	Взвешенные вещества	Масла и нефтепродукты
1.	ПАР	-	3	97,0	97,0	96,
2.	Na OH	1 - 2	4	96	95	97
3.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1 - 2	5	97,0	97,0	96,5
4.	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	2 - 3	5	97,5	99,0	97,0
5.	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	3 - 4	5	98,5	97,0	97,0
6.	Na <sub>2</sub> Si O <sub>3</sub>	4 - 5	5	98,0	98,0	96,5

Таблица 4. Эффективность очистки сточных вод гальванического производства с использованием поверхностно-активных веществ в начале обработки

Table 4. Efficacy of wastewater treatment electroplating using surfactants in the beginning of a treatment

№ п / п	Реагент		Эффективность очистки, %				
	основной	дополнительный	Cr <sup>6+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>
1.	ПАР	Na OH	98,0	97,0	96,	96,0	96,0
2.	ПАР	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	95,0	97,0	96,5	97,0	97,0
3.	ПАР	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	98,5	99,0	97,0	98,0	98,0
4.	ПАР	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	96,5	97,0	97,0	97,0	97,0
5.	ПАР	Na <sub>2</sub> Si O <sub>3</sub>	96,0	98,0	96,5	98,0	98,0

Таблица 5. Показатели образования пенного продукта в зависимости от используемых реагентов

Table 5. Indicators of forming foam product depending on the reagents used

№ п / п	Реагент		Объём пенного продукта, %	Час выделения пенного продукта, мин.	Затрати электрического тока, кВт
	основной	дополнительный			
1.	ПАВ	Na OH	20	1,3	4,5
2.	ПАВ	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25	1,5	5,1
3.	ПАВ	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	20	1,5	6,0
4.	ПАВ	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	30	1,0	5,75
5.	ПАВ	Na <sub>2</sub> Si O <sub>3</sub>	35	1,1	5,55

Примечание: 1. Объём пенного продукта в % определяется к общему объёму воды, который содержится в резервуаре. 2. Время выделения пенного продукта после его уплотнения в основном объёме верхней части накопительной ёмкости определяли 320 – 360 с [16].

Введение синтетических моющих растворов на основе ПАВ возможно регулированием активными добавками неорганических электролитов различной молекулярной влажности, а также повышение уровня адсорбционной возможности, образуя тонкие адсорбционные слои, которые резко изменяют условия взаимодействия на загрязнении.

Кроме того, ПАВ существенно снижают поверхностное натяжение на границе раздела: водный раствор – воздух, эффективно влияют на очистку от загрязнений, образуя тонкую плёнку минеральных загрязнений, с использованием компонентов на их основе, созданием условий для их эффективного обезвреживания или переводом в менее безопасную форму.

В табл. 6 представлены результаты исследований соотношения химических компонентов, входящих в состав ОМР к шестивалентному хрому в зависимости от значений электрического

заряда [18].

Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов по основным загрязнениям хром шести- и трёхвалентный, железо трёхвалентное и других ионов тяжёлых металлов представлено в табл. 7 [4,5].

С целью оптимизации состава химических компонентов, поиска эффективных режимов работы систем очистки был использован математический аппарат. С помощью множественной регрессии решена задача интенсификации очистки сточных вод промышленных предприятий. Выбранные режимы работы реагентной обработки сточных вод, количественный и качественный состав химических компонентов позволил выработать направление практической реализации и дальнейших исследований [19].

Таблица 6. Показатели соотношения химических компонентов в зависимости от затрат электрического заряда

Table 6. The ratios of the chemical components depending on cost of electric charge

Электрический заряд, Кл / дм <sup>3</sup>	Соотношение химических компонентов ОМР к шестивалентному хрому					
	ПАВ	Na OH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> Si O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> P <sub>5</sub> O <sub>10</sub>
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25	0,15
100	0,05	0,05	0,05	0,10	0,25	0,15
	0,05	0,05	0,05	0,10	0,25	0,15
300	0,25	0,25	0,25	0,25	1,20	0,25
	0,25	0,25	0,25	0,25	1,20	0,25
600	0,50	0,50	0,50	0,30	2,50	0,50
	0,50	0,50	0,50	0,30	2,50	0,50
700	0,60	0,80	0,80	0,50	3,20	1,80
	0,60	0,80	0,80	0,50	3,20	1,80

Примечание: 1. Начальная концентрация шестивалентного хрома составила 25 мг/дм<sup>3</sup> [4,5].

2. Содержание химических компонентов и их количественного состава каждого вещества увеличивалось.

Таблица 7. Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов

Table 7. The effectiveness wastewater treatment from ions of heavy metals

Электрический заряд, Кл / дм <sup>3</sup>	Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов, %					
	Хром (VI)	Хром (III)	Железо (III)	Медь (II)	Алюминий (III)	Цинк (II)
50	18	12,00	30,0	28	34	56,5
	48	62,00	60,0	45	65	58,0
100	98,5	96,0	94,0	78	78	60,0
	99,25	98,10	96,0	87	80	59,0
300	96,00	97,00	96,00	90	90	64,0
	99,50	99,20	98,00	95	89	67,0
600	96,50	97,00	96,50	97	95	69,0
	99,50	99,30	98,50	96	93	69,0
700	96,30	92,40	90,00	97	95	70,0
	99,80	96,20	91,30	97	97	70,0
<b>П</b>	<b>Р</b>	<b>О</b>	<b>Т</b>	<b>Т</b>	<b>И</b>	<b>П</b>
300	98	51				68

Таким образом, определённые соотношения химических компонентов, наиболее эффективные режимы и параметры обработки сточных вод с использованием реагентов, позволяют обеспечить эффективную обработку сточных вод. Кроме того, повторное использование очищенной воды в оборотных системах водоснабжения позволяет уменьшить габаритные размеры оборудования, сокращает площади, на которых они располагаются и затраты электрической энергии.

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования, цель которых состояла в определении оптимальных параметров и режимов работы систем очистки позволили сделать следующие выводы:

1. Выбранные химические компоненты, входящие в состав отработанного моющего раствора, позволяют повысить уровень интенсификации работы систем оборотного водоснабжения, за счёт рационального ведения водного хозяйства отдельных систем обработки сточных вод.

2. Предложенные технические решения позволяют стабилизировать обработку сточных вод в широком диапазоне загрязнений с высокими начальными концентрациями.

### ЛИТЕРАТУРА

- А. с. № 1634642 СССР, МКИ., 1991. Способ очистки сточных вод от шестивалентного хрома / Р. Вергунова, А. Захоржевская, В. Гурин, А. Шостенко, В. Генкин, М. Стельмах, Е. Калиновский. – Бюл. № 15.
- А. с. № 1527183 СССР, МКИ., 1989. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Р. Вергунова, Н.Коробчанская, Е. Короткова. – Бюл. № 37.
- А. с. № 975586 СССР, МКИ С 02 F 1 / 48. Способ очистки водных растворов от сульфата натрия / А. Заводякин, Я. Шнейерсон, П.Андреев, Г. Филлипов, В. Коновалов, В. Ивановский, И. Феенберг, О. Данилович, Р. Сивой, Л.Фрумина. - № 2562512 / 29 - 26; Заявл. 04. 01. 78; Опубли. 23. 11. 82. – Бюл. № 43.
- А. с. № 1730045 СССР, МКИ С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н. Бунин, С.Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. - Заявка № 4670283 / 26; заявл. 30. 03. 89; опубли. 30. 04. 92. – Бюл. № 16.
- А. с. № 1730046 СССР, МКИ С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н.Бунин, С.Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства - Заявка № 4670283 / 26; заявл. 30. 03. 89; опубли. 30. 04. 92. – Бюл. № 16.
- Вейцер Ю., Д.Минц. Д., 1984. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. – М.: Стройиздат. – 200.
- Гвоздев В., Ксенофонтов Б., 1988. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков.- М.: Химия. – 112.
- Запольский А., Образцов В., 1989. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. – К.: Техника. – 199.
- Пат. № 9877А Україна, МПК<sup>7</sup> С02F1/46. Спосіб обробки стічних вод гальванічного виробництва промислових підприємств / С. Мовчан.- – Заявка № у 2005 03515; заявл. 14. 04. 2005, опубл. 17. 10. 2005.– Бюл. № 10.
- Мовчан С., 2012. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва комплексом хімічних компонентів. Наукові розробки ТДАТУ. – Мелітополь. – 30.
- Мовчан С., 2013. Интенсификация работы оборотных систем водоснабжения MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Vol. 15, No. 6, 157 – 164.
- Мовчан С., Морозов М., 2013. Електрохімічні способи очищення стічних вод гальванічного виробництва. Всеукр. наук. - практичн. конференц., присвячена 90 – річчю заснування МДПУ ім. Б. Хмельницького. 13 – 14 листопада 2013 р., м. Мелітополь, Україна. –94 – 95.
- Мовчан С., 2014. Обработка параметров частиц водных растворов при интенсификации работы оборотных систем водоснабжения / С.И. Мовчан. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. –Vol. 16, No. 6. 141-150.
- Пат. № 45347 Україна, МПК<sup>7</sup> С 02 F 1 / 46. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва / С. Мовчан. – Заявка № у 2009 04539, заявл. 07. 05. 2009; опубл. 10. 11. 2009.– Бюл. № 21.
- Патент на корисну модель № 64255 Україна, МПК<sup>7</sup> С 02 F1/46. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва комплексом хімічних компонентів / С. Мовчан, М. Морозов. – Заявка № у 2010 132249, заявл. 08. 11. 2010; опубл. 10. 11. 2011.– Бюл. № 21.
- Патент на корисну модель № 97879 Україна, МПК<sup>7</sup> (2014.11.09) С02 F 11/00. Спосіб утилізації осадів гальванічних відділень/ С. Мовчан. – Заявка № у 2014 11021; заявл. 09. 10. 2014, опубл. 10. 04. 2015. – Бюл. № 7.
- Патент на корисну модель № 97943 Україна, МПК<sup>7</sup> (2014.11.09) С02 F 11/00. Спосіб очищення стічних вод, які утворюються у гальванічних відділеннях / С. Мовчан. – Заявка № у 2014 11865; заявл. 09. 10.

- 2014, опубл. 10. 04. 2015.– Бюл. № 7.
18. Полож. реш-04.07.2014 р. Патент на корисну модель № 141563У/14 Україна, МПК<sup>7</sup> (2014.01) С 02 F1/46. Спосіб каскадного очищення стічних вод / С. Мовчан. – Заявка № u 2014 03882; заявл. 14. 04. 2014.
19. Сизова Н., Епоян С., Мовчан С., 2014. Использование моделирования в процессе очистки сточных вод для интенсификации работы оборотных систем водоснабжения. Науковий вісник будівництва. – Харків ХНУБА ХОТВ АБУ. – Вип. 2 (76). - 132 - 136.
20. Епоян С., 2014. Оптимізація реагентів при обробці стічних вод гальванічних відділень промислових підприємств/ С.М. Епоян, С.І. Мовчан. Тези за матеріалами VI Всеукраїнського наукового семінару «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур». Присвячено 100-річчю створення Харківської каналізації (м. Харків, ХНУБА, 15 ... 16 жовтня 2014 р.). Харків. – 90-92.
21. Эпоян С., 1997. Интенсификация процессов очистки городских сточных вод и обработки осадков; дис. доктора техн. наук: 05.23.04 / Эпоян Степан Михайлович. – Харьков. – 319.

#### OPTIMIZATION OF CHEMICAL COMPONENTS AT REAGENT TREATING OF WASTEWATER

**Summary.** On the basis of experimental studies of optimization of the chemical components included in the waste cleaning solution, determine the optimum treatment of wastewater, ways to reduce energy costs and stabilize the efficiency of treating wastewater

**Key words:** wastewater, reagent treatment, chemical components, circulating water system, the optimal dose, the waste cleaning solution.