

УДК 628.349/08 : 628. 543

## ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Степан Эпоян<sup>a</sup>, Сергей Мовчан<sup>b</sup>

a – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
Адрес: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

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

b - Таврический государственный агротехнологический университет  
Адрес: 72310 Запорожская обл., г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 18

E-mail: [movchantsaa@rambler.ru](mailto: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.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Водохозяйственный комплекс промышленности Украины является одним из основных потребителей качественной воды из её водных источников. Главным образом, используются подземные воды. Использование воды промышленными предприятиями составляет 35% от общего объёма водных ресурсов, задействованных в промышленном секторе страны, что в условиях производства в стране представляет источник экологической безопасности. 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.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

### РАССМАТРИВАЕМОЙ ТЕМЫ.

В соответствии с данными «Національних доповідей про стан навколишнього середовища в Україні» (Міністерства охорони навколишнього

середовища) ежегодно в водные объекты страны сбрасывается неочищенными или недостаточно очищенными около 3 млрд. куб. метров воды.

Значительную часть в этом объёме 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.

Кроме того, состав сточных вод, их концентрация и широкий спектр загрязнений таят в себе экологическую угрозу не только для водных объектов, но и для окружающей среды. Накапливаясь в небольших объёмах, ионы тяжёлых металлов проникают в организм человека и постепенно разрушают его, приводят к заболеваниям, которые практически неизлечимы.

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 сооруже-

ний. 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 касустическая 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 (оксидно – 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. [4, 5].

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

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 [4].

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 электродиализа. С целью регенерации растворов, содержащих соляную, серную или азотную кислоту, с получением кислот концентрацией  $5 \dots 22$  % и порошкообразных металлов, процесс проводят в трехкамерном электродиализаторе с заполнением катодной камеры регенерируемым раствором, анодной камеры – кислотой, средней камеры выбранным катализатором при плотности тока  $20 \dots 50$  А /  $dm^2$  до окончательного содержания металла в католите  $1,5 \dots 15$  вес % [6].

1. Оптимизировать состав химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора.

2. Исследование процесса обработки сточных вод с повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО РАЗДЕЛА

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 оптималь-

ное соотношение и состав в определенном соотношении к шестивалентному хрому. Исследования проводили согласно блок-схеме, наведенной на рис. 1

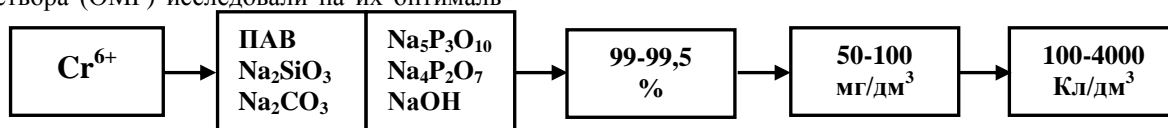


Рис. 1. Блок-схема определения химических компонентов отработанного моющего раствора к шестивалентному хрому

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

Эффективность очистки сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов проверяли в несколько стадий. В лабораторных условиях определяли количественный состав, соотношение и по-

рядок введения химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора. Для проведения исследований использовали стоки гальванических отделений с широким диапа-

зоном загрязнений: ( $\text{Cr}^{6+}$  до  $350 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  до  $100 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  до  $150 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  до  $200 \text{ мг/дм}^3$ ) и содержанием ионов тяжёлых металлов на выходе:  $\text{Cr}^{6+}$  до  $0,01 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  до  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  до  $0,11 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  до  $0,05 \text{ мг/дм}^3$ .

Для исследований, направленных на стабилизацию эффективности очистки сточных вод,

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
ПАВ	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	$\text{NaOH}$	$\text{Cr}^{6+}$	$\text{Cr}^{3+}$	$\text{Fe}^{3+}$	
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

При концентрации химических компонентов ОМР: ПАВ :  $\text{NaOH}$  :  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  :  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  меньше указанных значений (табл. 1) к весовой части  $\text{Cr}^{6+}$  степень очистки снижается за счёт создания плохих условий и уменьшения скорости флотации гидроксидов тяжёлых металлов [7].

Зависимость степени очистки сточных вод ( $C\%$ , %) от концентрации раствора, который

В случае, когда концентрация химических компонентов ОМР :  $\text{NaOH}$  :  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  :  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  :  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  больше указанных значений (табл. 1) к весовой части  $\text{Cr}^{6+}$  увеличивается пассивация электродной системы, что приводит к увеличению расхода электрической энергии [7, 8]

добавляется в сточную воду ( $C$ ,  $\text{мг/дм}^3$ ) наведен на рис. 2 [9,10].

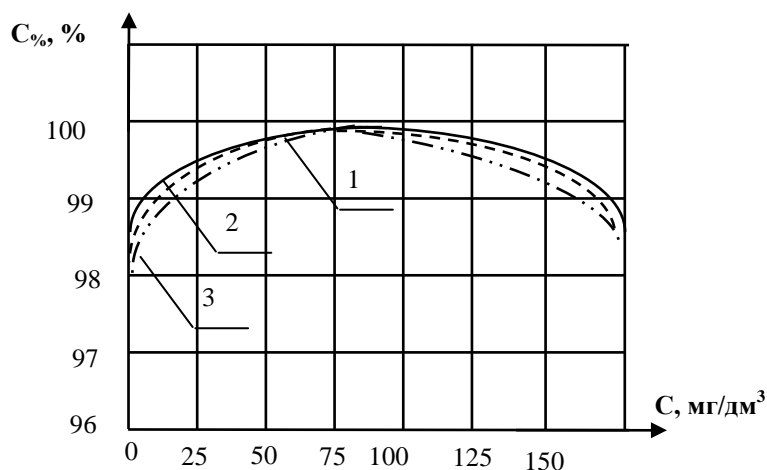


Рис. 2. Зависимость степени очистки сточных вод ( $C\%$ , %) от концентрации раствора, вводимого в сточную воду ( $C$ ,  $\text{мг/дм}^3$ ), при обработке стоков с повышенным содержанием следующих компонентов: 1-  $\text{Cr}^{6+}$ ; 2-  $\text{Cr}^{3+}$ ; 3-  $\text{Fe}^{3+}$

Fig. 2. The dependence of the degree of purification of wastewater ( $C\%$ , %) on the concentration of the solution introduced into the wastewater ( $C$ ,  $\text{mg / dm}^3$ ), and working of effluents with a high content of the following components:

1-  $\text{Cr}^{6+}$ ; 2-  $\text{Cr}^{3+}$ ; 3-  $\text{Fe}^{3+}$

характеризуются повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов (1-  $\text{Cr}^{6+} = 180-200 \text{ мг/дм}^3$ ; 2-  $\text{Cr}^{3+} = 180-200 \text{ мг/дм}^3$ ; 3-  $\text{Fe}^{3+} = 180-200 \text{ мг/дм}^3$ ).

На рис. 3 представлены зависимости степени очистки сточных вод металлостамповочного за-

вода (г. Пологи, Запорожской области), содержащие загрязнения на уровне: (1-  $\text{Cr}^{6+} = 180-200$

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>).

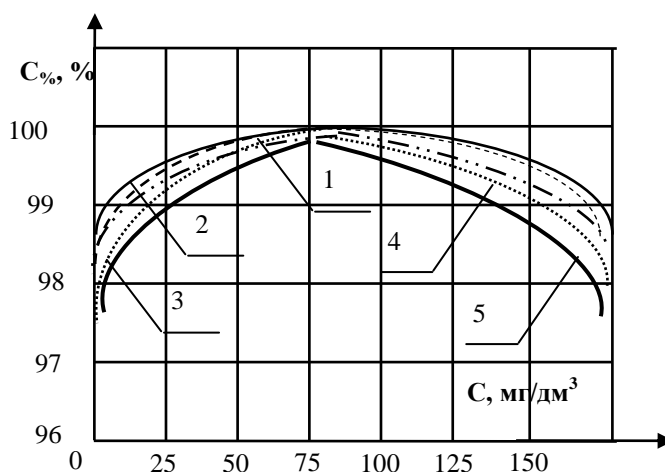


Рис. 3. Зависимость степени очистки сточных вод ( $C\%$ , %) от концентрации раствора, который вводится в сточную воду ( $C$ , мг/дм<sup>3</sup>): 1- Cr<sup>6+</sup>; 2-Cr<sup>3+</sup>; 3-Fe<sup>3+</sup>; 4-Al<sup>3+</sup>; 5-Zn<sup>3+</sup>

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 [7, 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 кри-

тической, 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 [8, 10].

Важной составляющей технологического процесса обработки сточных вод является если не уменьшение, то оптимизация затрат электрической энергии, которая существенным образом вли-

яет на стоимость обработки, нейтрализации и обезвреживания сточных вод гальванических отделений. С целью оптимизации затрат электрической энергии проводились исследования (рис. 4).

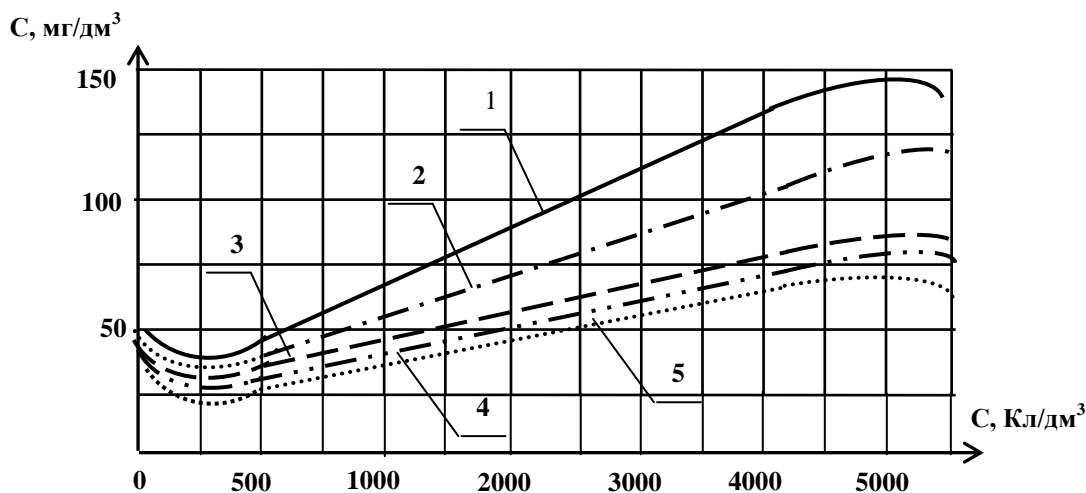


Рис. 4. Зависимости удельных затрат электрического заряда от концентрации химических компонентов и дозы отработанного моющего раствора. При обработке сточных вод, содержащих следующие компоненты: 1 –  $\text{Cr}^{6+}$ ; 2 –  $\text{Cr}^{3+}$ ; 3 –  $\text{Fe}^{3+}$ ; 4 – взвешенные вещества; 5 – поверхностно 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 –  $\text{Cr}^{6+}$ ; 2 –  $\text{Cr}^{3+}$ ; 3 –  $\text{Fe}^{3+}$ ; 4 – suspended solids; 5 – Surfactants

Степень очистки хромсодержащих сточных вод определяет эффективность процесса флотации и является определяющим фактором в работе электродной системы, от которой зависит пассивация стальных электродов [8,7,10,12].

Соотношение химических компонентов к  $\text{Cr}^{6+}$  при их использовании для обработки сточных вод гальванических отделений на заявленном техническом уровне представлено на рис. 5:

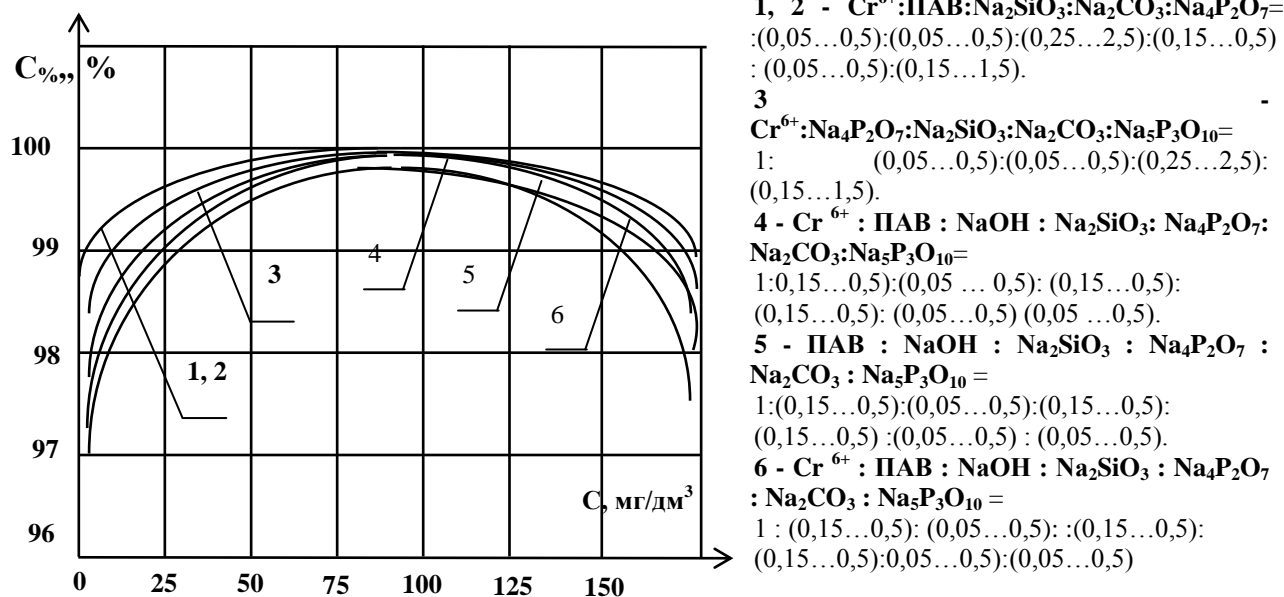


Рис. 5 Эффективность обработки сточных вод в соответствии с оптимальной величиной концентрации химических компонентов, отработанного моющего раствора (50-100 мг/дм<sup>3</sup>) при использовании предложенных технических решений: 1 и 2, 3, 4, 5 та 6

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

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.

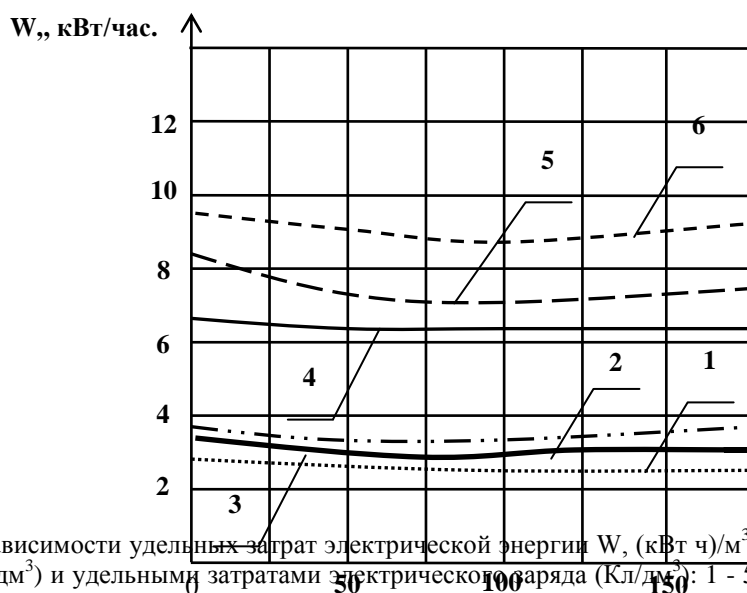


Рис. 6 Зависимости удельных затрат электрической энергии  $W$ , (кВт ч)/м<sup>3</sup> от дозы отработанного моющего раствора (мг/дм<sup>3</sup>) и удельными затратами электрического заряда (Кл/дм<sup>3</sup>): 1 - 500; 2 - 600; 3 - 1000; 4 - 2000; 5 -

4000; 6 – 5000

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

Зависимости степени очистки ( $C\%$ , %) сточных вод с повышенным содержанием  $Cr^{3+}$  от удельных затрат электрической энергии  $W$ , (кВт год. /  $m^3$ ) и

времени обработки стоков представлено на рис. 7 [10. 11].

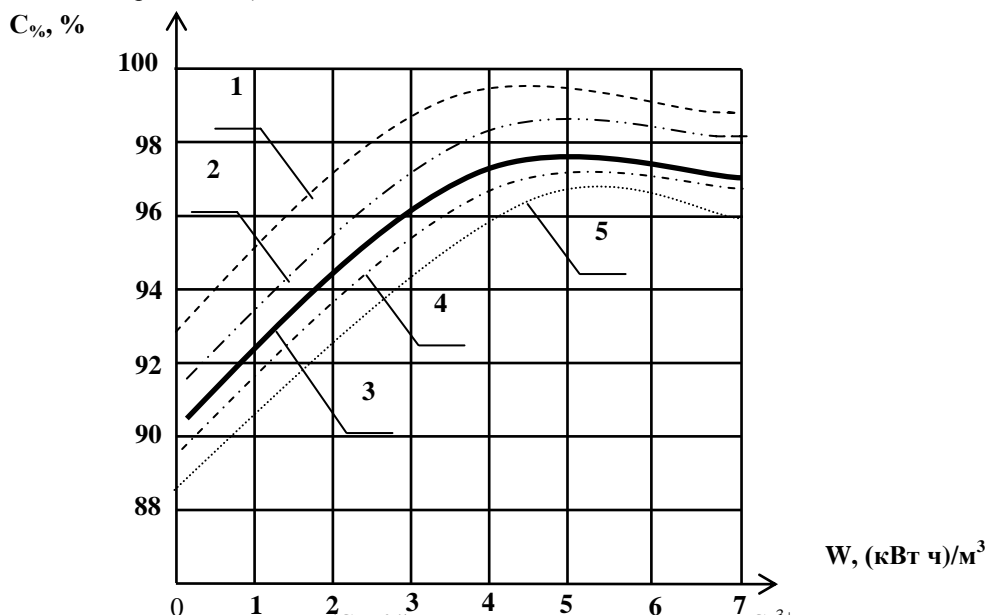


Рис. 7 Зависимости степени очистки ( $C\%$ , %) сточных вод с содержанием  $Cr^{3+}$  при удельных затратах электрической энергии  $W$ , (кВт ч)/ $m^3$  и времени обработки стоков: 1 – время обработки 6000 с; 2 – 1000 с; 3 – 1200 с; 4 – 1800 с

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 с; 2 – 1000 с; 3 – 1200 с; 4 - 1800 с

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/ $m^3$ ) 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/ $m^3$ ) [9-11].

Ещё одним существенным преимуществом

Таблица 2. Сравнительные показатели предложенных способов обработки сточных вод, при образовании объемов 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	Объем осадка, $m^3$	Объем флотошлама, $m^3$	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  $Cr^{6+} = 50$  мг/ $dm^3$ ;  $Cl^- = 180$  мг/ $dm^3$ . 2. Значение pH = 5,5; 3. Количе-

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 процесса выделения гидроксидов флотацией. Сравнительные показатели образования флотошлама представлены в табл. 2 [17].

ство взвешенных веществ составило 117 мг/ $dm^3$ . 4. Удельные затраты электрического тока 4,5 кВт – год./ $m^3$ . 5. В качестве добавок

апробировано использование СДБ – ОСТ 13 –

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 системе 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 [7, 9, 12, 13].

Кроме того, повторное использование хи-

В таблицах 3 и 4 наведена эффективность очистки сточных вод гальванического производства с использованием поверхностно-активных веществ в начале процесса обработки и времени,

183 – 83.

мических компонентов ОМР существенно увеличивает экономичность процесса обработки сточных вод с содержанием тяжёлых металлов [8, 10, 14].

Необходимо отметить, что разработанные способы обработки сточных вод имеют некоторые ограничения, которые состоят в использовании концентрации химических компонентов ОМР менее  $50 \text{ мг/дм}^3$  и более  $100 \text{ мг/дм}^3$ . Отклонения от определённого диапазона химических компонентов, проведение процесса электролиза менее  $600 \text{ Кл/дм}^3$  и  $4000 \text{ Кл/дм}^3$ , что определяется конкретными условиями использования каждого технического решения [13].

используемого в технологической операции [12, 13].

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

Показатели образования пенного продукта, взвешенных веществ и других легких примесей в зависимости от времени его накопления и

затрат электрической энергии представлены в табл. 5 [8, 12]

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	$\text{Na}_2 \text{Si O}_3$	35	1,1	5,55
----	-----	-----------------------------	----	-----	------

Примечание: 1. Объём пенного продукта в % определяется к общему объёму воды, который содержится в резервуаре. 2. Время выделения

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 загрязнение.

Кроме того, ПАВ существенно снижают поверхностное натяжение на границе раздела: водный раствор – воздух, эффективно влияют на очист-

пенного продукта после его уплотнения в основном объёме верхней части накопительной ёмкости определяли 320 – 360 с [17].

тку от загрязнений, образуя тонкую плёнку минеральных загрязнений, с использованием компонентов на их основе, созданием условий для их эффективного обезвреживания или переводением 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 [12].

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 / $\text{дм}^3$	Соотношение химических компонентов ОМР к шестивалентному хрому					
	ПАВ	Na OH	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	$\text{Na}_2 \text{Si O}_3$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{Na}_3\text{P}_5\text{O}_{10}$
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  $25 \text{ мг/дм}^3$  [7, 8].

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

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 [7, 8].

Таблиц 7. Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов

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

Электрический заряд, Кл / $\text{дм}^3$	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



Результаты экспериментальных исследований эффективности очистки отработанного мощного раствора (%) при обработке сточных

вод с использованием «Лабомид - 203» наведено в таблице 8.

Таблица 8. Результаты экспериментальных исследований эффективности очистки отработанного мощного раствора (%) при обработке сточных вод с использованием «Лабомид - 203»

Table 8. The results of experimental studies of the effectiveness of cleaning waste cleaning solution (%) during wastewater treatment with the use of "Labomid - 203"

Удельные затраты электрического тока, Кл / дм <sup>3</sup>	Доза отработанного мощного раствора, мг / дм <sup>3</sup>	Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов, %					
		Ионы тяжёлых металлов	Масла	Нефте-продукты	Взвешенные вещества	ПАВ	Фосфаты
400	25	45					
	50	60	58,5	98,5	96,5	99,5	96,0
	100	76	59,5	99,5	98,5	99,0	96,0
	150	80	72,0	90,0	85,0	80,0	80,0
450	25	30					
	50	63	78,0	96,0	94,0	97,0	92,0
	100	77	79,0	97,0	96,0	97,0	94,0
	150	90	75,0	90,0	85,0	80,0	80,0
500	25	40					
	50	60	79,5	98,5	95,5	98,0	98,0
	100	78	80,0	98,0	98,0	99,0	98,0
	150	89	78,5	90,0	90,0	85,0	85,0
550	25	30					
	50	62	79,0	95,5	95,5	90,5	93,0
	100	79	75,0	99,5	98,5	99,0	96,0
	150	90	78,0	94,0	83,0	85,0	84,0
600	25	32					
	50	79	81,0	95,5	95,5	90,5	93,0
	100	87	78,5	99,5	98,5	99,0	96,0
	150	94	79,5	94,0	83,0	85,0	84,0
650	25	35					
	50	78	75,5	95,5	95,5	90,5	93,0
	100	89	78,0	99,5	98,5	99,0	96,0
	150	95	79,0	94,0	83,0	85,0	84,0
700	25	30					
	50	75	78,5	93,5	92,5	90,5	93,0
	100	87	79,5	96,5	96,5	97,0	94,0
	150	93	80,5	92,0	81,0	83,0	82,0
800	25	28					
	50	67	58,5	63,5	92,5	90,5	93,0
	100	78	69,5	76,5	96,5	97,0	94,0
	150	96	72,5	82,0	81,0	83,0	82,0

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].

#### ВЫВОДЫ

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.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев В.Д. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков/В.Д.Гвоздев, Б.С. Ксенофонов.- М.: Химия, 1988. – 112 с.

2. Вейцер Ю.И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод/ Ю.И. Вейцер, Д. М. Минц. М.: Стройиздат, 1984. – 200 с.

3. Запольский А.К. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства / А.К. Запольский, В.В. Образцов. – К.: Техника, 1989. – 199 с.

4. А. с. № 1634642 СССР, МКИ. Способ очистки сточных вод от шестивалентного хрома / Р. В. Вергунова, А. Г. Захоржевская, В. И. Гурин, А. Ю. Шостенко, В. Е. Генкин, М. И. Стельмах и Е. А. Калиновский. 1991.

5. А. с. № 1527183 СССР, МКИ. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Р. В. Вергунова, Н. Е. Коробчанская и Е. А. Короткова. 1989.

6. А. с. № 975586 СССР, МКИ С 02 F 1 / 48. Способ очистки водных растворов от сульфата натрия / А. А. Заводякин, Я. М. Шнеерсон, П. П. Андреев, Г. Ф. Филиппов, В. Л. Коновалов, В. В. Ивановский, И. Я. Феенберг, О. М. Данилович, Р. Е. Сивой и Л. Ф. Фрумина. - № 2562512 / 29 - 26; Заявл. 04. 01. 78; Оpubл. 23. 11. 82, Бюл. № 43.

7. А. с. № 1730045 СССР, МКИ С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н. И. Бунин, С. И. Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. - Заявка № 4670283 / 26; заявл. 30. 03. 89; опубл. 30. 04. 92, Бюл. № 16.

8. А. с. № 1730046 СССР, МКИ С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н. И. Бунин, С. И. Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства - Заявка № 4670283 / 26; заявл. 30. 03. 89; опубл. 30. 04. 92, Бюл. № 16.

9. Пат. № 9877А Україна, МПК<sup>7</sup> С02F1/46. Спосіб обробки стічних вод гальванічного виробництва промислових підприємств / С. І. Мовчан.- Заявка № у 2005 03515; заявл. 14. 04. 2005, опубл. 17. 10. 2005, Бюл. № 10.

10. Пат. № 45347 Україна, МПК<sup>7</sup> С 02 F 1 / 46. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва / С. І. Мовчан. – Заявка № у 2009 04539, заявл. 07. 05. 2009; опубл. 10. 11. 2009, Бюл. № 21.

11. Патент на корисну модель № 64255 Україна, МПК<sup>7</sup> С 02 F1/46. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва комплексом хімічних компонентів / С. І. Мовчан, М. В. Морозов. – Заявка № у 2010 132249, заявл. 08. 11. 2010; опубл. 10. 11. 2011, Бюл. № 21.

12. Полож. реш-04.07.2014 р. Патент на корисну модель № 141563У/14 Україна, МПК<sup>7</sup> (2014.01) С 02

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.

F1/46. Спосіб каскадного очищення стічних вод / С.І. Мовчан. – Заявка № у 2014 03882; заявл. 14. 04. 2014,

13. Авторські права на твір. Свідоцтво № 58412 Хімічні речовини для очищення, оброблення й нейтралізації окремих видів стічних вод гальванічного виробництва промислових підприємств/ С.І. Мовчан. Заявка № 58010. Від 13.10.2014 р. Дата реєстрації 02.02.2015 р.

14. Мовчан С. І. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва комплексом хімічних компонентів / С.І. Мовчан // Наукові розробки ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – С. 30.

15. Мовчан С. И. Интенсификация работы оборотных систем водоснабжения / С. И. Мовчан. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – 2013, Vol. 15, No. 6, 157 – 164.

16. Мовчан С. І. Електрохімічні способи очищення стічних вод гальванічного виробництва / С. І. Мовчан, М. В. Морозов // Всеукр. наук. - практичн. конференц., присвячена 90 – річчю заснування МДПУ ім. Б. Хмельницького. 13 – 14 листопада 2013 р., м. Мелітополь, Україна, 2013. – С. 94 – 95.

17. Патент на корисну модель № 97879 Україна, МПК<sup>7</sup> (2014.11.09) С02 F 11/00. Спосіб утилізації осадів гальванічних відділень/ С.І. Мовчан. – Заявка № у 2014 11021; заявл. 09. 10. 2014, опубл. 10. 04. 2015, Бюл. № 7.

18. 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.І. Мовчан. – Заявка № у 2014 11865; заявл. 09. 10. 2014, опубл. 10. 04. 2015, Бюл. № 7.

19. Сизова Н.Д. Использование моделирования в процессе очистки сточных вод для интенсификации работы оборотных систем водоснабжения/ Н.Д. Сизова, С.М. Епоян, С.І. Мовчан // Науковий вісник будівництва. – Харків ХНУБА ХОТВ АБУ, 2014. – Вип. 2 (76). - С. 132 - 136.

20. Мовчан С.И. Обработка параметров частиц водных растворов при интенсификации работы оборотных систем водоснабжения / С.И. Мовчан. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – 2014, Vol. 16, No. 6. 141-150.

21. Епоян С.М. 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, 2014. – С. 90-92.

22. Авторські права на твір. Свідоцтво № 58412 Хімічні речовини для очищення, оброблення й нейтралізації окремих видів стічних вод гальванічного виробництва промислових підприємств/ С.І. Мовчан. Заявка № 58010. Від 13.10.2014 р. Дата ре-

еґрації 02.02.2015 р.

23. Эпоян С.М. Интенсификация процессов очистки городских сточных вод и обработки осадков; дис. доктора техн. наук: 05.23.04 / Эпоян Степан Михайлович. – Харьков, 1997. – 319 с.

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

**Abstract.** 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

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

**Abstract.** 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

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

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