Водоснабжение и строительные системы охраны водных ресурсов

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-9>
УДК 628.16

В.Н. Волкова, С.Б. Кунденко, Д.В. Волков

ВОЛКОВА ВЛАДИСЛАВА НИКОЛАЕВНА – аспирант, ORCID: 0000-0001-9078-9858,
vladavibi@bk.ru

КУНДЕНКО СВЕТЛАНА БОРИСОВНА – аспирант, старший преподаватель
(автор, ответственный за переписку), 14sveta65@mail.ru
Политехнический Институт (Школа)

Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, Россия

ВОЛКОВ ДМИТРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ – мастер по эксплуатации модульных
канализационных станций, volkov_dima01@mail.ru

Приморский водоканал
Владивосток, Россия

Методы соосаждения тяжелых металлов в сточных водах гальванического производства ионами магния и кальция морской воды

Аннотация: Рассматриваются экспериментальные методы реагентной очистки от примесей гальванического производства, основанные на осаждении ионов магния и кальция из морской воды в присутствии гидроксида натрия и соли алюминия. Рассмотрено влияние различных реагентов на процесс коагуляции примесей и скорости седиментации хлопьев. На основе полученных авторами экспериментальных данных разработан метод очистки стоков для судостроительного предприятия, позволяющий сократить время отстаивания сточных вод, а также затраты на реагенты.

Авторами проведен ряд лабораторных экспериментов по соосаждению тяжелых металлов в сточных водах гальванического производства разными методами, результаты позволили разработать собственный метод, сокращающий затраты на реагенты. Для оптимизации количества экспериментов применены методы теории вероятности и математической статистики. Получено уравнение регрессии в безразмерном масштабе относительно времени с параметрами аппроксимации результатов компьютерного моделирования. Модель показывает образование флоккул во времени.

Ключевые слова: гальванические стоки, реагентная обработка с морской водой, моделирование процесса коагуляции

Введение

Промышленные сточные воды, объем которых очень высок, – один из главных источников загрязнения окружающей среды в России. В настоящее время очистка стоков от ионов тяжелых металлов – актуальная экологическая проблема. Судостроительные верфи, авиационные и металлургические заводы, заводы по изготовлению и ремонту техники, имеющие гальванические цеха, сбрасывают большой объем вредных стоков, которые попадают в подземные воды и поверхностные водотоки, что пагубно влияет на здоровье людей и на окружающую среду. Именно поэтому очистка сточных вод гальванического производства – очень актуальная экологическая задача. Перед сбросом в поверхностные водные объекты стоки необходимо очистить

от коллоидных и растворенных примесей [2]. В ряде исследований отмечается, что существующие технологии нуждаются в интенсификации и оптимизации, так как необходимы безопасные и экономически эффективные технологии утилизации образующихся твёрдых осадков [6, 7], также необходимо внедрение комбинированных методов [3]. Например, ионы хрома – трудно осаждаемые в виде нерастворимых осадков, поэтому перед сбросом в водоем для достижения соответствующих нормативов требуется ступенчатая очистка [3].

Загрязняющие вещества в стоках предприятий, применяющих в технологии производства различные гальванические покрытия [8], можно разделить на подгруппы исходя из разных их состояний:

- взвешенные вещества;
- коллоиды;
- биогенные элементы;
- кислоты, соли, основания, тяжелые металлы.

Для каждой подгруппы загрязнений существуют свои способы очистки [4, 11, 12]. Так, для удаления взвешенных веществ самый эффективный способ – седиментация [5], а для коллоидов – метод реагентной обработки. Биогенные элементы удаляются микроорганизмами, а для умягчения воды и доочистки ионов химических веществ применяют сорбцию и ионообменный метод [9].

Малый размер коллоидных частиц не позволяет им произвольно укрупняться и осаждаться в воде, как это происходит с грубодисперсными примесями. И здесь рационально применение коагуляции (физико-химический процесс укрупнения коллоидных частиц в крупные флоккулы, которые при окончании реакции выпадают в осадок). Чаще всего причиной устойчивости частиц в воде является наличие заряда на поверхности, поэтому условия протекания флоккуляции зависят от значения pH воды [10].

Отметим, что коагуляция – основной технологический приём удаления из воды примесей тяжелых металлов, находящихся во взвешенном и растворенном состоянии, а также коллоидных органических загрязнений, присутствующих в воде.

Цель данной статьи – на основе эксперимента и моделирования разработать метод очистки сточных вод для гальванического производства, позволяющий сократить затраты на реагенты.

Для этого нам необходимо решить следующие задачи:

- обосновать коагулирующие свойства ионов кальция и магния, присутствующих в морской воде, для осаждения тяжелых металлов (предприятие находится на берегу моря);
- создать новую математическую модель с целью уменьшения количества экспериментов.

Нам необходимо в лабораторных условиях разработать технологию очистки сточных вод гальванического производства для конкретного судостроительного предприятия. На предприятии предусмотрены различные виды гальванической обработки изделий (хромирование, цинкование, меднение, кадмирование), поэтому стоки имеют сложный состав. Сочетание тяжелых металлов в сточных водах может меняться в течение суток. На данный момент предприятие обрабатывает кислые стоки гидроксидом натрия до pH 10,0–11,0, а затем нейтрализует до pH 8,0–8,5 перед сбросом в водоем.

Эксперимент: обработка сточных вод гальванического производства различными реагентами

Для выявления оптимальных параметров коагуляции тяжёлых металлов при минимальных экономических затратах на реагенты мы провели эксперименты по обработке сточных воды гальванического производства различными реагентами:

- гидроксидом натрия;
- морской водой;
- морской водой и гидроксидом натрия;
- морской водой, сульфатом алюминия и гидроксидом натрия.

Принято контрольное время отстаивания 60 мин, что достаточно для седиментации обработанных реагентами сточных вод.

В работе были использованы следующие методы: энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ, рентгенофазовый анализ, атомно-абсорбционный анализ, ионообменная ВЭЖХ (высокоэффективная жидкостная хроматография), а также коагулянты: 20% раствор гидроксида натрия, 20% раствор сульфата алюминия, морская вода (Японское море, Амурский залив).

Реагентная обработка сточных вод

Сточные воды гальванического производства (400 мл) обрабатываем щелочью (100 мл). После доведения pH пробы выше 10 единиц интенсивно выпадал осадок тёмно-зелёного цвета. Исследуем фугат очищенной воды и осадок. В составе осадка большое количество тяжёлых металлов: железо – 64%, марганец – 17, магний – 5, цинк – 5, сера – 4, алюминий – 2, кальций – 2, кремний – 1, фосфор – 0,2, мышьяк – 0,1, иттрий – 0,02 и стронций 0,01%. Состав очищенной воды представлен в табл. 1.

Таблица 1

Элементный состав фугата после обработки сточных вод гальванического производства

Элементный состав воды	Сточные воды гальванического производства, мг/л	
	До обработки	После обработки NaOH
Al	31,68	0,40
Cd	0,17	0,01
Cr	0,10	0,10
Cu	1,07	0,04
Fe	550,97	0,10
Mg	116,86	22,57
Mn	211,10	0,05
Ni	0,13	0,10
Pb	0,25	0,18
Zn	46,60	0,01

Выявлено: после обработки сточных вод гальванического производства щелочью значительно уменьшается концентрация тяжелых металлов (табл. 1). Полное осаждение хлопьев протекало в течение часа, объем осадка составляет 35% от объема резервуара (рис. 1).

Рис. 1. Отстаивание сточных вод, обработанных гидроксидом натрия в течение часа.

Реагентная обработка сточных вод морской водой

После разбавления морской водой (50 мл) до pH 4 исследуемую пробу (400 мл) сточных вод гальванического производства отстаивали в течение 8 ч, после чего проводили фильтрацию и исследовали осадок и фугат. Осадок хлопьевидный, жёлто-коричневого цвета. В состав осадка входит большое количество тяжёлых металлов (таблицы 1, 2): элементы железа – 81%, хлора – 6, натрия – 5, серы – 4, алюминия – 1, кальция – 0,2, кремния – 1, калия – 0,2, меди – 0,1%. Морская вода в отличие от гидроксида натрия хорошо осаждает железо, хлор и калий. По процентному соотношению осаждение этих металлов практически одинаково (кроме железа) по сравнению с обработкой гидроксидом натрия.

Таблица 2

Элементный состав фугата после обработки сточных вод гальванического производства морской водой

Элементный состав воды	Исходная морская вода, мг/л	Сточные воды гальванического производства, мг/л	
		До обработки	Фугат
Al	0,40	31,68	3,44
Cd	0,01	0,17	0,02
Cr	0,10	0,10	0,10
Cu	0,05	1,07	0,14
Fe	0,10	550,97	18,30
Mn	0,06	211,10	21,31
Ni	0,10	0,13	0,10
Pb	0,25	0,25	0,25
Zn	0,03	46,60	4,52

Выявлено: после разбавления гальванических стоков морской водой значительно уменьшается концентрация тяжёлых металлов в сточных водах гальванического производства (рис. 2).

Рис. 2. Отстаивание сточных вод, обработанных морской водой (1 ч).

Реагентная обработка сточных вод гальванического производства морской водой и гидроксидом натрия

При разбавлении морской водой (100 мл) до pH 6,5 пробу (400 мл) доводили до pH 10 гидроксидом натрия, затем отстаивали в течение 8 ч, после чего проводили фильтрацию и исследовали осадок и фугат. Осадок хлопьевидный, жёлто-белого цвета. Образцы осадка и фугата проанализировали на химический и элементный состав. В состав осадка входят элементы

магния – 49%, хлора – 26, натрия – 7, кальция – 8, железа – 6, марганца – 3, серы – 1, цинка – 1, калия – 1, алюминия – 1, кремния – 0,2, брома – 0,1, стронция – 0,1 и меди – 0,05%.

Таблица 3 показывает, что после разбавления сточных вод гальванического производства морской водой и добавления гидроксида натрия значительно уменьшается концентрация тяжёлых металлов. Очистка до предельно допустимых концентраций (ПДК) проходит по кадмию и меди до 0 мг/л, железа – до 0,1 мг/л. Концентрация магния значительно уменьшилась, а следовательно, магний, содержащийся в морской воде, сработал как коагулянт. При этом объем осадка через час отстаивания был больше, чем фугата (рис. 3).

Таблица 3

Элементный состав фугата после обработки сточных вод гальванического производства морской водой и гидроксидом натрия

Элементный состав воды	Исходная морская вода, мг/л	Сточные воды гальванического производства, мг/л	
		До обработки	Фугат
Al	0,40	31,68	0,5
Cd	0,01	0,17	0
Cr	0,10	0,10	0,1
Cu	0,05	1,07	0
Fe	0,10	550,97	0,1
Mg	1169,00	116,86	1,62
Mn	0,06	211,10	0,13
Ni	0,10	0,13	0,05
Pb	0,25	0,25	0,1
Zn	0,03	46,60	0,05

Рис. 3. Отстаивание в течение часа сточных вод, обработанных морской водой и гидроксидом натрия.

Реагентная обработка сточных вод гальванического производства морской водой, сульфатом алюминия и гидроксидом натрия

Для метода пробного коагулирования в качестве реагента выбрали сернокислый алюминий. Для осаждения ионов тяжелых металлов в присутствии сульфата алюминия и ионов металлов в морской воде (в основном магния и в меньшей степени – кальция) использовали двадцатипроцентный раствор NaOH. Химическая реакция металлов (Me) с гидроксидами описывается уравнениями:

Группы OH на поверхности гидроксидов имеют комплексообразующие O-донорные группы, подобные OH-группам, связанные с другими элементами. Ионы водорода и ионы метал-

лов конкурируют друг с другом на поверхности гидроксидов, где степень координации определяется заменой H^+ ионами металлов (Me) реакции (1)–(4). Аналогично происходит замена лигандов комплексообразующими анионами, что приводит к удалению иона OH^- с поверхности:

Кроме того, при высоком значении pH адсорбция ионов металла может сопровождаться гидролизом.

При разбавлении сточных вод (400 мл) гальванического производства морской водой (100 мл) до pH 6,5 добавляли раствор сернокислого алюминия 50 мг/л и далее в исследуемую пробу по каплям вливали 20% раствор гидроксида натрия, пока не появлялись хлопья размером 1 мм. Отстаивали в течение 10 мин, после чего проводили фильтрацию и исследовали осадок и фугат. Основные компоненты осадка: алюминий – 65%, сера – 27, хром – 2, натрий – 1,8%.

Таблица 4 показывает, что после разбавления сточных вод гальванического производства морской водой и добавления сульфата алюминия значительно уменьшается концентрация тяжёлых металлов. Очистка до ПДК проходит по алюминию и марганцу до 0,05 мг/л, меди и цинка – до 0,08 мг/л, железа – до 0,1 мг/л. Концентрация магния значительно уменьшилась – до 0,02 мг/л, а значит магний, содержащийся в морской воде, сработал как коагулянт. Объем осадка составляет 12% от объема резервуара (рис. 4). Время отстаивания составило всего 10 мин.

Таблица 4

Элементный состав фугата после обработки сточных вод гальванического производства с применением морской воды и сульфатом алюминия

Элемент	Исходная морская вода, мг/л	Концентрация, мг/л	
		Исходная проба	Проба после реагентной обработки
Al	0,40	2,01	0,05
Cr	0,10	45,7	2,47
Cu	0,05	1,39	0,079
Fe	0,10	0,147	0,1
Mg	1169,00	0,215	0,024
Mn	0,06	0,08	0,05
Zn	0,03	0,92	0,082

Рис. 4. Отстаивание сточных вод, обработанных морской водой, гидроксидом натрия и сульфатом алюминия.

Выявлено, что эффективность очистки после реагентной обработки уменьшилась, но при этом существенно сокращается временной барьер. После разбавления воды гальванического производства морской водой (она хороший коагулянт благодаря содержанию солей кальция и магния) и добавления гидроксида натрия значительно уменьшается концентрация тяжёлых металлов.

Самым экономичным способом оказалась смесь сернокислого алюминия, гидроксида натрия и морской воды, но при ее применении эффективность очистки ниже, чем у других

веществ. Поэтому, мы полагаем, необходимо продолжить экспериментальные исследования с целью подбора доз реагентов, позволяющих добиться более высоких показателей.

Теперь для выявления коагулирующей способности различных видов реагента и сокращения количества экспериментов необходимо провести аппроксимацию.

Аппроксимация экспериментальных данных

С помощью физической (технической) аппроксимации, к которой мы прибегли в своем исследовании, оперативно решается широкий круг актуальных задач, связанных с конкретными проблемами прикладного характера [1].

Рассмотрим вероятности столкновений экспоненциально блуждающих объёмных частиц. Столкновение определяется как попадание двух частиц в такие точки пространства, где их объёмы перекрываются. При случайных блужданиях нельзя описать столкновения частиц или их диффузное отражение от границ, а поскольку флокулы затормаживаются во времени, пробеги принимаются как отрезки пересечений касательных. Развитие и преобразование частиц в флокулы во времени, плотности распределения $C(m)$ концентраций флокул по массам m также можно выразить объемом (множество флокул). Для однородных частиц масса выражается как плотность при коагуляции и описывается классическим уравнением Смолуховского, которое показывает появление флокул, чей основной показатель – масса m_1 (за счёт слипания частиц малых размеров) и убывание (растворение) флокул массы m_1 (за счёт взаимодействия с любыми частицами). Математическая зависимость Смолуховского выводится из известного уравнения Колмогорова, а в модели Маркуса–Лушникова указываются случайные факторы.

Свертывание частиц для свободно-молекулярного пробега рассчитывается из произведения площади сечения свертывания на относительные скорости флокул, усреднённые по Максвелловскому распределению. Свертывание частиц при диффузии находится через расчёт процесса взаимного распределения и слипания молекул потока на некоторую сферу с учётом её движения, а коэффициенты взаимного распределения и слипания молекул выводятся из формулы Стокса.

Наша задача: рассчитать через экспоненциальные блуждания процесс коагуляции в дискретном по времени уравнении Смолуховского.

Для построения модели случайных блужданий частиц с одинаковой плотностью в сточных водах гальванического производства, куда влили реагент, нужно определить общий временной шаг t (наименьшее значение времени свободного пробега). Случайные блуждания приводят к тому, что распределения частиц по длинам свободного пробега на временах t не определены, т.е. у них нет единого вероятностного пространства для всего объема сточных вод гальванического производства, при котором мы могли бы учесть их взаимодействие.

Предположим, что все флокулы распределены равномерно в пространстве с концентрациями c_k и c_s частиц размерами R_k и R_s соответственно, тогда усреднённое по всем начальным дистанциям $r_s > R_k + R_s$ число всех флокул s -типа, сталкивающихся с одной флокулой k -типа:

$$N_{alls \leftrightarrow 1k} = \int_{R_k+R_s}^{+\infty} 4\pi r_s^2 c_s Pr_{sk}(r_s) dr_s. \quad (5)$$

Если флокулы распределены неравномерно, то их необходимо усреднять с использованием радиальной корреляционной функции, поэтому достаточно вычислить интеграл (5) в нескольких точках по функции, где k – флокулы, V – число столкновений флокул в некотором объёме, t – время:

$$N_{sk} = V c_k N_{alls \leftrightarrow 1k} = V c_s c_k \int_{R_k+R_s}^{+\infty} Pr_{sk}(r) 4\pi r^2 dr. \quad (6)$$

В качестве граничных условий, от которых зависит время процесса очистки сточных вод, содержащих большое количество тяжелых металлов, были приняты следующие:

N – количество блуждающих флокул,
 t – время, мин.

Координаты распределения частиц: x , y , z . По линейно-квадратичной гауссовой функции можно определить распределение флокул:

$$S_n(r) \approx a_n r^2 \exp\left(-\frac{r^{b_n}}{c_n}\right), n \geq. \quad (7)$$

$$P_{n \rightarrow \infty}(\vec{r}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} \prod_{j=1}^d \sigma_j} \int e^{\vec{n} \cdot \vec{r} \cdot \vec{w}} e^{-\frac{1}{2} \vec{w}^2} d\vec{w} = \frac{1}{(2\pi n)^{\frac{d}{2}} \prod_{j=1}^d \sigma_j} e^{\frac{1}{2} \left(\frac{\vec{r} - n \vec{M}_l}{\sqrt{n}} \text{diag} \left\{ \frac{1}{\sigma_j} \right\} \right)^2}. \quad (8)$$

$$l = \int_0^\infty a_n r^2 \exp\left(-\frac{r^{b_n}}{c_n}\right) dr = \frac{a_n}{b_n} c_n^{3/b_n} \Gamma. \quad (9)$$

Экспериментальные данные обработаны по методу дисперсных блуждающих частиц в программе MATLAB, что позволило получить уравнения регрессии в безразмерном масштабе относительно времени.

Ниже приведены параметры (табл. 5) по формуле (6), полученные из аппроксимации результатов компьютерного моделирования блужданий до 10-го шага. Экспериментальные данные аппроксимируются формулой (8) с коэффициентом диффузии, отличающимся от истинного, с погрешностью не большей, чем у параметра c_n в (7). Для 95% доверительного интервала параметр b_n определён с погрешностью 0,7%, параметр c_n – с погрешностью около 3%, а параметр a_n находился по формуле (9), где $S_2^{\text{exp}} = 0.8676 \exp\{-r^{0.1534}/3.508\}$.

Таблица 5

Аппроксимация результатов компьютерного моделирования блужданий

n	1	2	3	4	5
$a_n \cdot 10$	789743,53	43,313	3,793	1,188	0,569
b_n	0,213	0,529	0,765	0,928	1,048
c_n	0,068	0,218	0,432	0,067	1,014
n	6	7	8	9	10
$a_n \cdot 10$	0,330	0,215	0,153	0,114	0,090
b_n	1,151	1,237	1,302	1,373	1,413
c_n	1,405	1,868	2,364	3,002	3,563

Мы построили график аппроксимации результатов компьютерного моделирования блужданий для $n=1$ шагов (рис. 5). График показывает, что полную коагуляцию можно провести за 1 ч в производственных условиях. Данная модель позволяет сократить количество лабораторных экспериментов.

Рис. 5. Аппроксимация результатов компьютерного моделирования блужданий для $n=1$ шагов, где $S_n(r)$ – радиальная переходная функция, $r(\lambda=1)$ – средний пробег флокул.

Выводы и дальнейшие перспективы исследования

Итак, нами проведены исследования по обработке стоков гальванического производства различными реагентами. Наиболее эффективным оказался метод обработки стоков морской водой и гидроксидом натрия: он значительно уменьшает концентрацию тяжёлых металлов. Очистка до ПДК проходит по кадмию и меди до 0 мг/л, железа – до 0,1 мг/л. Самой экономичной оказалась смесь сернокислого алюминия, гидроксида натрия и морской воды.

Получено уравнение регрессии в безразмерном масштабе относительно времени с параметрами аппроксимации результатов компьютерного моделирования. Модель показывает образование флоккул при коагуляции во времени и доказывает, что достаточно провести один эксперимент вместо десяти.

Результаты проведенной работы позволяют продолжить дальнейшие исследования по определению оптимальных доз реагентов при минимальном количестве экспериментов.

Вклад авторов в статью: В.Н. Волкова – теоретическая постановка задачи исследований, экспериментальные исследования, обработка данных, оформление статьи; С.Б. Кунденко – теоретическая постановка задачи исследований, обработка данных, оформление статьи; Д.В. Волков – экспериментальные исследования, поиск и перевод зарубежных источников. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубинский А.Н. Методы аппроксимации экспериментальных данных и построения моделей // Вестник Воронежского института МВД России. 2007. № 2. С. 138–143.
2. Исхакова И.О., Ткачева В.Э. Инновационные методы очистки сточных вод современного гальванического производства // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 10. С. 143–146.
3. Мухаметова Н.К., Мосталыгина Л.В. Комбинированный метод очистки сточных вод гальванического производства от ионов хром // Состояние окружающей среды и здоровье населения: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Курган: Курганский гос. ун-т. 2009. С. 82–83.
4. Николаева Л.А., Лаптев А.Г., Бородай Е.Н. Новые возможности утилизации шламов химической водоподготовки на ТЭС // Вода: химия и экология. 2009. № 3. С. 2–5.
5. Олышанская Л.Н., Булкина Л.А., Лазарева Е.Н., Шайхиев И.Г. Технологические аспекты извлечения токсичных металлов из гальваноотходов для вторичного применения // Вестник Казанского технол. ун-та. 2014. Т. 17, № 7. С. 195–198.
6. Пат. 2311191 Российская Федерация, МПК C02F1/52, C02F1/28, C02F1/64, C02F103/04. Коагулянт-адсорбент для очистки промышленных стоков от тяжёлых металлов / К.А. Бурков, А.И. Дробышев, С.В., Караван, О.А. Пинчук; СПбГУ. № 2009127556/05; заявл. 20.07.2009; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4. 12 с.
7. Субботкин Л.Д., Урецкий Е.А., Мороз В.В. Исследования процессов совместной физико-химической очистки сточных вод гальванического и покрасочного производства // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 9(61). С. 133–138.
8. Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Чириков А.Ю., Юдаков А.А., Перфильев А.В. Комплексный подход к обезвреживанию и утилизации отходов гальванического производства // Современные проблемы экологии: X Междунар. науч.-техн. конф. Тула: Инновационные технологии, 2014. С. 23–26.
9. Чуркина А.Ю. Современные направления усовершенствования систем водопотребления и водоотведения гальванических производств // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности: сб. науч. тр. в 10 т. Т. 8. Тамбов: Юком, 2015. С. 160–162.
10. Ярошевский А.Б., Гонголева А.А. Очистка медьсодержащих сточных вод гальванических производств щелочными сточными водами // Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Поволжского региона: Казань: Казанский фил. МИИТ, 2016. С. 85–88.
11. Ahmed M.J.K., Ahmaruzzaman M. A review on potential usage of industrial waste materials for binding heavy metal ions from aqueous solutions. J. of Water Process Engineering. Elsevier, 2016;3:39–47.

12. Devi T.B., Ahmaruzzaman M. Bio-inspired facile and green fabrication of Au Ag AgCl core-double shells nanoparticles and their potential applications for elimination of toxic emerging pollutants: a green and efficient approach for wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2017;317(1 June): 726–741.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2020. N 4/45

Water Supply, Construction Systems for Water

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-9>

Volkova V., Kundenok S., Volkov D.

VLADISLAVA VOLKOVA., Postgraduate student, ORCID: 0000-0001-9078-9858, vladavibi@bk.ru
SVETLANA KUNDENOK, Postgraduate student, Senior lecturer (corresponding author),
14sveta65@mail.ru

Politechnical Institute, *Far Eastern Federal University*
Vladivostok, Russia

DMITRY VOLKOV, Foreman on operation of module sewage stations, volkov_dima01@mail.ru
Primorsky Vodokanal Company
Vladivostok, Russia

Methods for coprecipitation of heavy metals in waste waters of galvanic production with magnesium and calcium ions of seawater

Abstract: Experimental methods of reagent purification of galvanic impurities based on the precipitation of magnesium and calcium ions from seawater in the presence of sodium hydroxide and aluminum salt are considered. The influence of various reagents on the process of coagulation of impurities and sedimentation rate of flakes is considered. Based on the experimental data obtained by the authors, a waste water treatment method has been developed for a shipbuilding company allowing to reduce the sedimentation time of waste water and the cost of reagents.

A series of lab experiments was carried out on the deposition of heavy metals in waste water of galvanic production by various methods, which reduces the cost of reagents. The methods of probability theory and mathematical statistics are applied to optimize the number of experiments. The regression equation was obtained on a dimensionless scale relatively to time with the approximation parameters of the results of computer simulation. The model shows the formation of flocs in time.

Keywords: galvanic drains, reagent treatment with sea water, modeling of the coagulation process.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests

Article: received: 12.02.2020; reviewed: 30.03.2020; accepted: 03.06.2020. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project N 20-38-90004.

REFERENCES

1. Golubinsky A.N. Methods for approximating experimental data and building models. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2007(2):138–143.
2. Iskhakova I.O., Tkacheva V.E. Innovative methods of wastewater treatment of modern galvanic production. *Bulletin of the Technological University*. 2016;19(10):143–146.
3. Mukhametova N.K., Mostalygina L.V. The combined method of wastewater treatment of galvanic production from chromium ions. *Environmental state and public health: materials of II All-Russian. scientific-practical conf. Kurgan, Kurgan State. Univ., 2009, p. 82–83.*
4. Nikolaeva L.A., Laptev A.G., Boroday E.N. New opportunities for utilization of sludge from chemical water treatment at TPPs. *Water: Chemistry and Ecology*. 2009(3):2–5.

5. Olshanskaya L.N., Bulkina L.A., Lazareva E.N., Shaikhiev I.G. Technological aspects of the extraction of toxic metals from galvanic waste for secondary use. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2014;17(7):195–198.
6. Pat. 2311191 Russian Federation, IPC C02F1/52, C02F1/28, C02F1/64, C02F103/04. Coagulant adsorbent for the treatment of industrial effluents from heavy metals / K.A. Burkov, A.I. Drobyshev, S.V., Caravan, O.A. Pinchuk; SPbSU. No. 2009127556/05; declared 07/20/2009; publ. 02/10/2011, Bull. No. 4. 12 p.
7. Subbotkin L.D., Uretsky E.A., Moroz V.V. Studies of the processes of joint physical and chemical wastewater treatment of galvanic and paint production. *Construction and Industrial Safety*. 2017(61):133–138.
8. Tsybul'skaya O.N., Ksenik T.V., Chirikov A.Yu., Yudakov A.A., Perfilyev A.V. An integrated approach to the neutralization and disposal of waste from galvanic production. *Innovative technologies*. Tula, 2014, p. 23–26.
9. Churkina A.Yu. Modern directions of improving the systems of water consumption and water disposal of galvanic production. *Actual issues in scientific work and educational activities: in 10 vols., vol. 8*. Tambov, Yukom, 2015, p. 160–162.
10. Yaroshevsky A.B., Gongoleva A.A. Purification of copper-containing wastewater of galvanic plants with alkaline wastewater. *Actual problems of socio-economic and environmental safety of the Volga region*. Kazan, Kazan Branch MIIT, 2016, p. 85–88.
11. Ahmed M.J.K., Ahmaruzzaman M. A review on potential usage of industrial waste materials for binding heavy metal ions from aqueous solutions. *J. of Water Process Engineering*. Elsevier, 2016;3:39–47.
12. Devi T.B., Ahmaruzzaman M. Bio-inspired facile and green fabrication of Au Ag AgCl core-double shells nanoparticles and their potential applications for elimination of toxic emerging pollutants: a green and efficient approach for wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2017;317(1 June): 726–741.