

УДК 628.345

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ АО «ТЮМЕНСКИЙ АККУМУЛЯТОРНЫЙ ЗАВОД»)

Качалова Г.С.

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (учебное подразделение
Строительный институт), Тюмень, e-mail: galinakachalova@mail.ru*

В процессе проведения исследований были приготовлены модельные сточные воды, состав и свойства которых максимально приближены к реальным сточным водам АО «Тюменский аккумуляторный завод». Их мутность составила 315 ЕФМ, содержание свинца – 580 мг/л. В ходе эксперимента были определены оптимальные дозы пяти коагулянтов (сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 300 мг/л, хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 250 мг/л, сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – 300 мг/л, смешанный коагулянт FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1:1) – 150 мг/л и полиоксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ торговой марки Аква-Аурат 30 – 200 мг/л). Среди них был выбран наиболее эффективный коагулянт – полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30, использование которого позволило снизить мутность сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 5 мг/л. В процессе исследования эффективности трех различных флокулянтов дозой 2 мг/л (Praestol 2530 TR, Flopam 4350 SH и Полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я.М. Свердлова» ПАА) было установлено, что наиболее подходящим для данных сточных вод является ПАА. Также было установлено, что наиболее эффективное осветление воды при использовании коагулянта совместно с флокулянтом достигается при применении дефицитной дозы коагулянта полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 (150 мг/л). Оптимальная доза ПАА составила 2 мг/л. Использование ПАА в данной дозе позволило добиться снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 1,5 мг/л. Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее результаты могут быть использованы для совершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Ключевые слова: коагулянты, флокулянты, сточные воды, мутность, дозы

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF TREATMENT OF WASTE WATER BATTERY PRODUCTION (ON THE EXAMPLE OF JSC «TYUMEN BATTERY FACTORY»)

Kachalova G.S.

*Department of General and Special Chemistry, the Industrial University, Tyumen,
e-mail: galinakachalova@mail.ru*

In the course of carrying out researches model sewage which composition and properties are as close as possible to real sewage of JSC Tyumen Battery Plant were prepared. Their turbidity was 315 EFM, lead content – 580 mg/l. During the experiment optimum doses of five coagulants were defined ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ iron protoxide sulfate – 300 mg/l, chloric $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ iron – 250 mg/l, sulfate of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ aluminum – 300 mg/l, the mixed FeCl_3 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1:1) coagulant – 150 mg/l and polyoxochloride of $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ aluminum of a trademark Akwa Aurate of 30 – 200 mg/l). Among them the most effective coagulant – aluminum polyoxochloride Akwa Aurate 30 whose use allowed to reduce turbidity of sewage to 10 EFM, and lead content – up to 5 mg/l was chosen. In the course of the research of efficiency of three various flokulyant by a dose of 2 mg/l (Praestol 2530 TR, Flopam 4350 SH and Poliakrilamid-gel technical Federal State Unitary Enterprise Plant of Ya.M. Sverdlov of PAA) it was established that the most suitable for this sewage is PAA. Also it was established that the most effective clarification of water when using coagulant together with flokulyanty is reached at application of a scarce dose of coagulant of polyoxochloride of aluminum Akwa Aurate 30 (150 mg/l). The optimum dose of PAA made 2 mg/l. Use of PAA in this dose allowed to achieve decrease in turbidity of sewage to 10 EFM, and lead content – to 1.5 mg/l. Work has the direct practical importance as its results can be used for improvement of processes of sewage treatment on JSC Tyumen Battery Plant.

Keywords: coagulants, flokulyant, sewage, turbidity, doses

Очистка сточных вод – одна из самых острых экологических проблем современной промышленности. И промышленные предприятия Тюмени и Тюменской области не являются исключением. АО «Тюменский аккумуляторный завод» – крупное предприятие, использующее большое количество воды для процесса производства. Большая часть образующихся сточных вод используется повторно и не оказывает непосредственного

воздействия на окружающую среду. Но, несмотря на это, часть сточных вод поступает в городские очистные сооружения, поэтому требует тщательной очистки от различных загрязнителей. Объектом исследования выступают сточные воды, предметом – очистка модельных сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Цель исследования: подбор оптимальных реагентов и их доз для процессов коагу-

ляции и флокуляции сточных вод АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее результаты могут быть использованы для усовершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

В настоящее время на рынке имеется огромный выбор коагулянтов и флокулянтов для очистки воды, однако строгого разделения на коагулянты и флокулянты не существует. В зарубежной литературе все реагенты, участвующие в агрегации и осаждении частиц называют флокулянтами. В России наиболее принято разделение по такому принципу: к коагулянтам относят низкомолекулярные вещества, воздействующие на электрокинетический потенциал, а к флокулянтам – высокомолекулярные соединения, вызывающие агрегацию частиц за счет химического взаимодействия [1].

Все коагулянты можно разделить на органические и неорганические. К органическим относят низкомолекулярные водорастворимые полимеры, такие как полиамины, дициандиамидные и меламиноформальдегидные смолы, полиадамак. Данные соединения эффективны, они практически не влияют на pH сточной воды, для очистки достаточно небольших доз. Однако в промышленности органические коагулянты не получили широкого применения: этот тип коагулянтов имеет достаточно высокую цену, реагенты представлены в виде растворов, что затрудняет транспортировку и хранение, сырьевая база для их производства ограничена.

Неорганические коагулянты получили более широкое применение в промышленных объемах, это связано с их универсальностью, распространенностью и низкой стоимостью. Минеральные коагулянты представлены солями алюминия, железа и их смесями, значительно реже используются соли магния, титана, цинка [2, 3].

Железосодержащие коагулянты: сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (железный купорос по ГОСТ 6981-85). Хлорное железо FeCl_3 (ГОСТ 11159-86).

Соли железа обеспечивают наилучшую коагуляцию при pH 3,5–6,5 или 8,0–11,0, что является преимуществом их применения. Кроме того, коагулянты на основе железа не теряют своей коагулирующей способности при низких температурах воды, а также образующиеся хлопья имеют большую гидравлическую крупность и плотность, за счет чего осаждение частиц происходит с высокой скоростью [4].

Алюмосодержащие коагулянты: сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 12966-85). Этот коагулянт эффективен при pH 5–7,5, но обладает высокой чувствительностью к изменению pH и температуры воды, что является существенным недостатком [5].

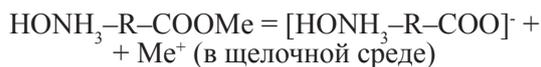
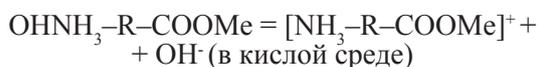
Оксихлорид алюминия (ОХА), то же полиалюминий гидроксид, хлоргидроксид алюминия, основной хлорид алюминия. Общая формула ОХА – $\text{Al}(\text{OH})_m \text{Cl}_{3-m}$, наиболее распространенный вид $\text{Al}_2(\text{OH})_5 \text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. ОХА является одним из наиболее эффективных современных коагулянтов. Он обеспечивает стабильность процесса коагуляции даже при низких температурах, обладает низкой кислотностью и широким диапазоном pH. Содержание остаточного алюминия после обработки вод ОХА значительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия [6].

Смешанные коагулянты: недостатки железосодержащих и алюмосодержащих коагулянтов можно свести к минимуму, если использовать смешанные коагулянты. Смешанный алюможелезный коагулянт представляет собой смесь растворов FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в массовом соотношении 1:1, однако соотношение можно изменять в зависимости от условий работы очистных сооружений и характеристик сточных вод. Максимальным отношением хлорного железа к сульфату алюминия является 2:1. Применение смешанного коагулянта значительно снижает расход реагентов, хлопья осаждаются равномерно [7].

Флокуляция: для интенсификации процесса хлопьеобразования при коагуляции применяют флокуляцию. Флокуляция – процесс агрегации частиц при добавлении в сточные воды высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В отличие от коагуляции, процесс агрегативации частиц при флокуляции происходит не только в результате контакта, но и в результате химического взаимодействия флокулянта и осаждаемого вещества. На процесс флокуляции влияет ряд факторов, таких как молекулярная масса, конформация молекул, степень ионизации флокулянта, форма и размер коллоидных частиц, их природа и химический состав. Главное – подобрать правильную дозу флокулянта, так как недостаток приводит к медленному и неполному протеканию процесса, а избыток – к дефлокуляции или пептизации.

Современные флокулянты для очистки сточных вод: неионные флокулянты –

в воде могут находиться в неионизированном состоянии (неионные флокулянты) или диссоциировать на ионы. В зависимости от химической природы диссоциирующей группы различают анионные и катионные флокулянты. К анионным группам относят $-\text{COOH}$; $-\text{SO}_3\text{H}$; $-\text{OSO}_3\text{H}$; $-\text{PO}(\text{OH})_2$; $-\text{Cl}$; $-\text{SO}_4$; к катионным: $-\text{NH}_2$; $=\text{NH}$; $=\text{NOH}$; $-\text{Na}$; $-\text{K}$ и другие. При наличии в структуре и кислотных, и основных групп макромолекула обладает амфотерными свойствами, поскольку знак заряда иона изменяется в зависимости от pH среды [8]. Наибольшее распространение в промышленном применении получил полиакриламид и флокулянты на его основе. Чистый полиакриламид (ПАА) является амфотерным полиэлектролитом и может диссоциировать как по кислотному, так и основному типу:



где R – цепочка молекулы ПАА.

Анионные флокулянты представляют собой сополимеры акриламида с возрастающей долей акрилата – происходит диссоциация по основному типу. Катионные флокулянты – сополимеры акриламида с возрастающими долями катионных сомономеров.

Выбор флокулянта (анионный или катионный) зависит от природы дестабилизированных частиц, которые присутствуют в сточной воде. Как показывает опыт, катионные флокулянты применяются для связывания органических частиц, а анионные – для минеральных.

Зачастую методов коагуляции и флокуляции недостаточно для глубокой очистки сточных вод, поэтому дополнительно применяются сорбционные методы. Сорбционные методы считаются одними из наиболее эффективных способов глубокой очистки сточных вод [9].

Материалы и методы исследования

В ходе работы были разработаны методики приготовления модельных сточных вод АО «Аккумуляторный завод», скорректированы методики проведения процесса коагуляции и флокуляции, использованы методы определения мутности (фотоколориметрический метод), кислотности (титриметрический анализ), содержания свинца (фотоколориметрический метод).

Для исследований были выбраны коагулянты пяти видов: сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, смешанный коагулянт FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1:1), полиоксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ торговой марки Аква-Аурат 30.

Среди флокулянтов были отобраны три типа: анионный флокулянт Праестол 2530 TR, катионный – Флопам 4350 SH и полиэлектролит – Полиакриламид – гель технический.

Для приготовления модельных сточных вод в пять мерных цилиндров на 500 мл поместили навеску свинцовой пасты массой 250 мг и 250 мг нитрата свинца, довели до метки водой. Для нейтрализации стоков добавили 1,5 мл раствора Na_2CO_3 . Значение pH модельных вод после нейтрализации составило 8,32, что находится в допустимых пределах.

Определение содержания свинца в модельных водах проводили плумбоновым методом согласно ГОСТ 18293-72 [10]. Сущность метода заключается в образовании соединения свинца с плумбоном, имеющего желто-оранжевый цвет. Предварительно свинец экстрагируется дитизоном в четыреххлористом углеороде.

Измерение оптической плотности рабочего раствора свинца проводили относительно холостой пробы на КФК-3-01-«ЗОМЗ» при длине волны падающего излучения 490 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм. Значение оптической плотности составило 0,124.

Чтобы перейти от оптической плотности раствора к концентрации ионов свинца, необходимо было построить калибровочный график по стандартному образцу состава раствора ионов свинца ГСО 7252-96.

Для определения мутности модельных сточных вод пользовались методикой ГОСТ Р 57164-2016. Для этого измерили оптическую плотность вод при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм.

Значение оптической плотности составило 3,683.

Для перехода от оптической плотности к мутности построили калибровочный график по стандартному образцу мутности (формазиновая суспензия) ГСО 7271-96.

Методика процесса коагулирования: диапазон доз различных коагулянтов выбрали от 100 до 300 мг/л. Все коагулянты готовили в виде 5%-ного раствора. Коагулянты вводились в модельные сточные воды после

подщелачивания. Через 30 мин отбирали пробы на глубине ниже уровня жидкости на 5 см каждые 10 мин в течение 1 ч. Во всех пробах измеряли значение оптической плотности по методике ГОСТ Р 57164-2016. Для оптимальных доз всех коагулянтов с помощью калибровочного графика оптическая плотность была переведена в показатель качества воды – мутность.

Методика процесса флокулирования: выбор наиболее эффективного флокулянта решено было проводить при дозе 2 мг/л после обработки воды полиоксихлоридом алюминия Аква-Аурат 30 дозой 200 мг/л. Введение флокулянта производили через 5 мин после введения коагулянта.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные исследования эффективности различных коагулянтов представлены на рис. 1, 2, табл. 1.

Таким образом, были выяснены оптимальные дозы каждого коагулянта и максимально возможное уменьшение оптической плотности сточных вод. Для наглядного

представления полученные данные приведены на рис. 1.

Для оптимальных доз всех коагулянтов оптическая плотность была переведена в показатель качества воды – мутность с помощью калибровочного графика. Полученные результаты представлены в табл. 1, рис. 2.

Таким образом, для дальнейших исследований был выбран коагулянт полиоксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ торговой марки Аква-Аурат 30, так как его использование помогает добиться максимального снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ. Оптимальная доза данного коагулянта составила 200 мг/л.

Результаты исследования эффективности различных флокулянтов представлены на рис. 3, 4.

Таким образом, использование коагулянта полиоксихлорида алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ торговой марки Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянтном Полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я.М. Свердлова» дозой 2 мг/л помогает добиться максимального снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ.

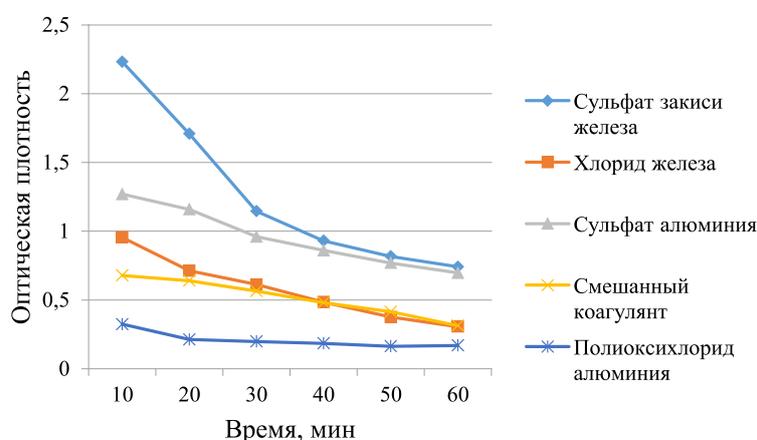


Рис. 1. Зависимость оптической плотности от времени отстаивания для оптимальных доз всех коагулянтов

Оптимальные дозы различных коагулянтов и уменьшение мутности сточных вод при их использовании

Тип коагулянта	Оптимальная доза, мг/л	Мутность после коагуляции, ЕФМ
Сульфат закиси железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	300	60
Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	300	57
Хлорное железо $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	250	20
Смешанный коагулянт $FeCl_3 \cdot Al_2(SO_4)_3$	150	20
Полиоксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ Аква-Аурат™30	200	10

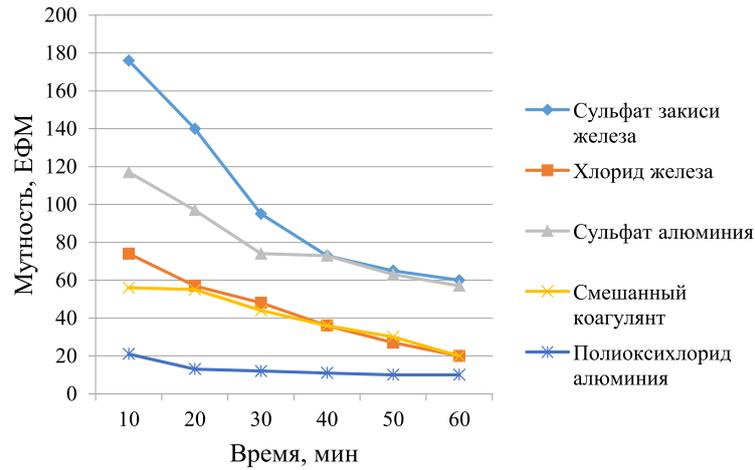


Рис. 2. Зависимость мутности от времени отстаивания для оптимальных доз всех коагулянтов

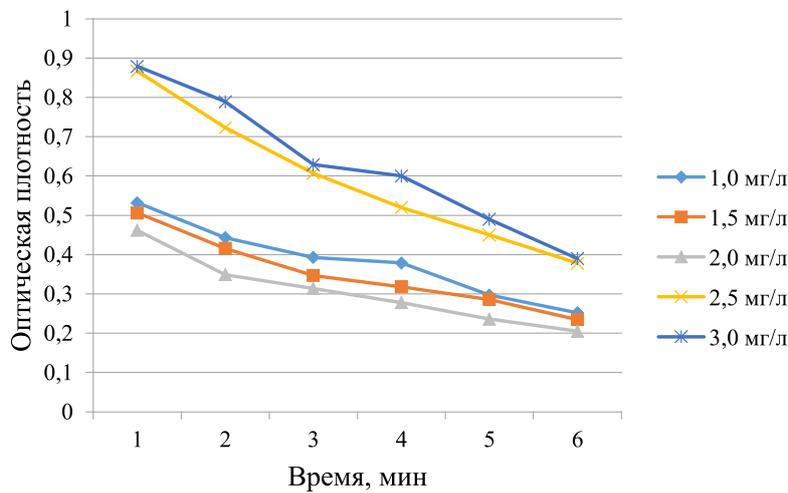


Рис. 3. Зависимость оптической плотности от времени отстаивания для оптимальной дозы коагулянта (200 мг/л) и различных доз флокулянта ПАА

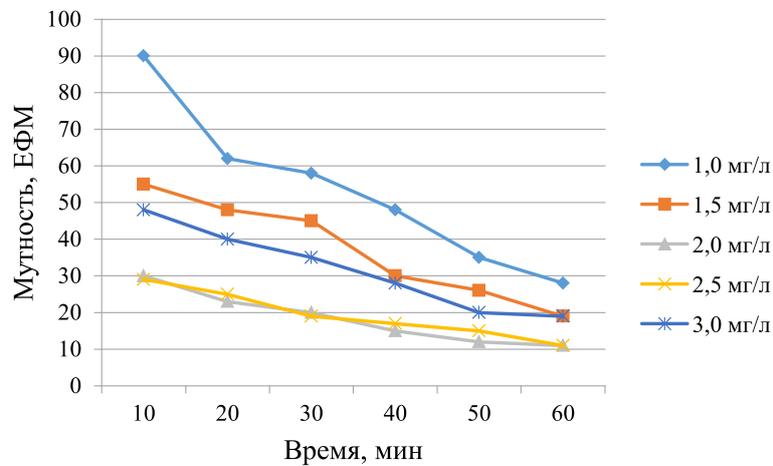


Рис. 4. Зависимость мутности от времени отстаивания для дефицитной дозы коагулянта (150 мг/л) и различных доз флокулянта ПАА

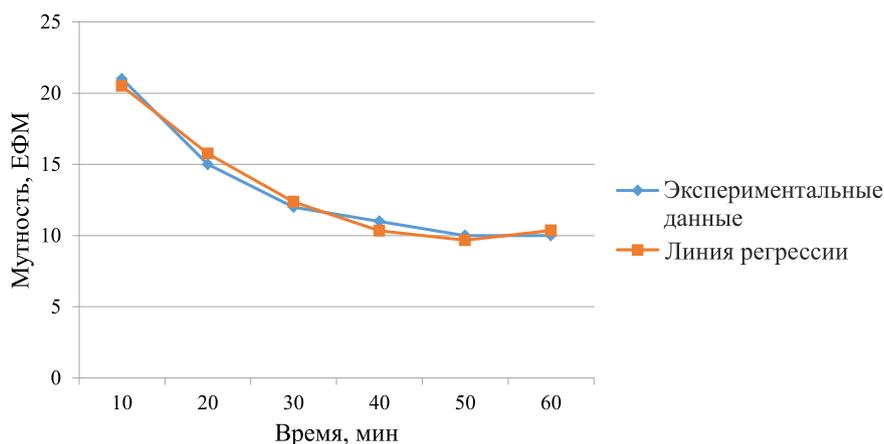


Рис. 5. Зависимость мутности от времени отстаивания для полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 (200 мг/л)

Определили содержание свинца в сточной воде после процессов коагуляции и флокуляции плумбоновым методом согласно ГОСТ 18293-72 [10]. Оптическая плотность раствора составила 0,080, что соответствует содержанию свинца 1,5 мг/л.

Оценка достоверности полученных результатов: провели оценку достоверности полученных результатов для процессов коагуляции с использованием полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 в оптимальной дозе 200 мг/л и полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянт ПАА дозой 2 мг/л. Для этого определили функцию изменения мутности сточных вод с течением времени, применив метод регрессионного анализа.

Анализ экспериментальных данных показал, что функции изменения мутности сточных вод в зависимости от времени отстаивания для процессов коагуляции с использованием полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 в оптимальной дозе 200 мг/л и полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 дозой 150 мг/л в сочетании с флокулянт ПАА дозой 2 мг/л являются убывающими степенными функциями второго порядка и объективно описывают кинетику отстаивания сточных вод.

Выводы

В процессе проведения исследований были приготовлены модельные сточные воды, состав и свойства которых максимально приближены к реальным сточным водам АО «Тюменский аккумуляторный завод». Их мутность составила 315 ЕФМ, содержание свинца – 580 мг/л.

В ходе эксперимента были определены оптимальные дозы пяти коагулянтов (сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 300 мг/л, хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 250 мг/л, сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – 300 мг/л, смешанный коагулянт FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1:1) – 150 мг/л и полиоксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ торговой марки Аква-Аурат 30 – 200 мг/л). Среди них был выбран наиболее эффективный коагулянт – полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 30, использование которого позволило снизить мутность сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 5 мг/л.

В процессе исследования эффективности трех различных флокулянтов дозой 2 мг/л (Praestol 2530 TR, Floпам 4350 SH и Полиакриламид-гель технический ФГУП «Завод им. Я.М. Свердлова» (ПАА)) было установлено, что наиболее подходящим для данных сточных вод является ПАА. Также было установлено, что наиболее эффективное осветление воды при использовании коагулянта совместно с флокулянт достигается при применении дефицитной дозы коагулянта полиоксихлорида алюминия Аква-Аурат 30 (150 мг/л), а не оптимальной (200 мг/л). Далее был проведен подбор оптимальной дозы ПАА, которая составила 2 мг/л. Использование ПАА в данной дозе позволило добиться снижения мутности сточных вод до 10 ЕФМ, а содержание свинца – до 1,5 мг/л.

Данная схема очистки более эффективна, чем та, что в данный момент используется на АО «Тюменский аккумуляторный завод», так как значительно повышает качество сточных вод за счет использования бо-

лее современных реагентов в их оптимальных дозах.

Работа имеет непосредственную практическую значимость, так как ее результаты могут быть использованы для усовершенствования процессов очистки сточных вод на АО «Тюменский аккумуляторный завод».

Список литературы / References

1. Халтурина Т.И. Очистка сточных вод промышленных предприятий. Красноярск, 2014. 164 с.
Halturina T.I. Sewage treatment of the industrial enterprises. Krasnoyarsk, 2014. 164 p. (in Russian).
2. Обзор рынка неорганических коагулянтов в России и Казахстане. 3-е изд. М.: ООО ИГ ИНФОМАЙН, 2015. 134 с.
The review of the market of inorganic coagulants in Russia and Kazakhstan. the 3rd prod. M.: ООО ИГ ИНФОМАЙН, 2015. 134 p. (in Russian).
3. Bing Wang, Yiyu Shui, Min He, Puzhen Liu. Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms. *Biochemical Engineering Journal*. 2017. Vol. 121. P. 107–117. DOI: 10.1016/j.bej.2017.01.020.
4. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод: монография. М., 2005. 571 с.
Draginsky V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. Coagulation in technology of purification of natural waters: monograph. M., 2005. 571 p. (in Russian).
5. Jack Lin, Sara Couperthwaite, Graeme J. Millar. Effectiveness of Aluminium Based Coagulants for Pre-Treatment of Coal Seam Water. *Separation and Purification Technology*. 2017. Vol. 177. P. 207–222. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.01.010.
6. Коева А.К., Максимова С.В., Качалова Г.С. Обработка промывных вод станции водоподготовки города Курган на реке Тобол // *Современные наукоёмкие технологии*. 2014. № 5. С. 47–50.
Koyeva A.K., Maximova S.V., Kachalova G.S. Processing of washing waters of the station of water treatment of the city of Kurgan on the Tobol River // *Modern high technologies*. 2014. № 5. P. 47–50 (in Russian).
7. Качалова Г.С. Использование современных коагулянтов и флокулянтов в процессе коагулирования сточных вод // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 2. С. 23–27.
8. Качалова Г.С. Use of modern coagulants and flocculant in the course of a koagulirovaniye of sewage // *International Journal of Applied and Fundamental research*. 2018. № 2. P. 23–27 (in Russian).
9. Теория применения флокулянтов. [Электронный ресурс]. URL: http://floculant.ru/content/files/Teoriya_primeneniya.pdf (дата обращения: 05.05.2019).
10. Теория флокулянтов. [Электронный ресурс]. URL: http://floculant.ru/content/files/Teoriya_primeneniya.pdf (date of access: 05.05.2019) (in Russian).
11. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.
Voronov Yu.V., Yakovlev S.V. Water disposal and sewage treatment. M.: Publishing house of Association of construction higher education institutions, 2006. 704 p. (in Russian).
12. ГОСТ 18293-72. Вода питьевая. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра. М.: Стандартинформ, 2010.