

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

**И.А. Арканова, Н.Д. Доманцевич**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Интенсивное влияние на окружающую среду оказывают города и расположенные в них предприятия черной металлургии, являющиеся основой промышленной и экономической мощи страны. Особую актуальность для предприятий черной металлургии приобрели вопросы рационального использования природных ресурсов, поиски эффективных методов защиты окружающей среды, разработка совершенных систем подготовки и использования воды, очистки сточных вод. В данной статье разобраны недостатки метода расчета необходимого количества реагента для очистки кислых железосодержащих производственных стоков. Исследователем выявлена и задокументирована зависимость качества очистки стоков от количества используемого реагента с учетом всех факторов, способных оказать как положительное, так и отрицательное влияние на процесс очистки.

*Ключевые слова: кислые железосодержащие стоки, очистка стоков, обезжелезивание и нейтрализация, методы очистки стоков, сточные воды, черная металлургия.*

### Введение

Очистка стоков промышленных предприятий – серьезная тема в силу высокой потенциальной опасности возникновения экологических проблем. Сточные воды от промышленных предприятий специфичны и содержат в ряде случаев сложные многокомпонентные опасные для человека и окружающей среды смеси, для удаления которых необходимо разрабатывать комплексные очистные системы. При попадании железосодержащих кислых стоков в водоемы находящийся в стоках гидрат закиси железа поглощает растворенный в воде кислород и окисляясь постепенно переходит в гидроокись железа, выпадающую на дно и берега водоемов, образуя большое количество осадка ржаво-рыжего цвета. В небольших водоемах такие стоки могут полностью поглощать растворенный в воде кислород, что приводит к уничтожению органической жизни. Присутствие в воде гидрата закиси делает воду нестабильной: в сетях трубопроводов такая вода образует отложения, на предприятиях, использующих эту воду в производственном процессе, возможен брак продукции. Водоемы, загрязненные железосодержащими кислыми стоками, часто становятся совершенно непригодными в качестве источников хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения. Не уделяя должного внимания вопросу очистки сточных вод, предприятие может нанести большой ущерб окружающей сре-

де, а государственное регулирование в данной области с каждым годом становится все строже, поэтому водоотведение и очистка сточных вод должны занимать особое место в работе каждого промышленного предприятия [1, 2].

Одной из ведущих отраслей экономики Челябинской области является машиностроение и металлообработка. В машиностроительном комплексе сосредоточено 28 % промышленно-производственного персонала Челябинской области. Удельный вес в общем объеме продукции обрабатывающих производств составляет 11,3 %.

Машиностроительный комплекс представлен автомобильной промышленностью (25,3 %), тракторным и сельскохозяйственным (14,1 %) машиностроением, станкостроением, приборостроением, металлургическим, строительно-дорожным и коммунальным, электротехническим, горношахтным и горнорудным машиностроением, а также производством металлических конструкций и изделий.

Территориально предприятия по области размещены неравномерно. Наибольшее их число – в Челябинске: АО «ЧТЗ» – крупнейшее в России предприятие по производству тракторной техники, заводы по производству дорожных машин (завод им. Колущенко), станков («Станкомаш»), кузнечно-прессовый завод), радиотехники, часов и т. д. Транспортное машиностроение представлено производством большегрузных

автомобилей (г. Миасс), вагоностроением (г. Усть-Катав) [3].

Челябинская область является лидером среди российских регионов в области черной металлургии. Металлургические предприятия Челябинской области производят 26 % всероссийского выпуска металлопроката, 27 % стали и 15 % – стальных труб. Черная металлургия представлена 28 крупными и средними предприятиями. Наиболее существенную роль среди них играют:

- ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» – крупнейшее предприятие в стране – (57,2 % металлургической продукции в области);
- ОАО «Мечел» (16,9 %), специализирующийся на выпуске легированных сталей;
- ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат»;
- металлургические заводы в горнозаводской зоне Урала (ОАО «Златоустовский металлургический комбинат», ОАО «Ашинский металлургический завод», ОАО «Комбинат «Магнезит» (г. Сатка), ОАО «Саткинский чугуно-плавильный завод»);
- заводы по производству труб, метизов (ОАО «Челябинский трубопрокатный завод», ОАО «Магнитогорский метизно-металлургический завод», ЗАО «Миньярский метизно-металлургический завод»).

Черная металлургия представлена группой старых заводов горнозаводской зоны: Ашинским, Уфалейским, Саткинским и Златоустовским, методы очистки и использования сточных вод которых в настоящее время технически и морально устарели. На большинстве металлургических предприятий вопрос с переработкой и повторным использованием сложных сточных («кислых» железосодержащих) вод не решен. Известны и апробированы методы нейтрализации таких вод известковым «молоком» с последующим отстаиванием и сбросом их производственно-дождевую канализацию. Осадок направляют в шламонакопители [4].

Поскольку способ очистки металлической поверхности путем травления в кислотах (обычно в серной и соляной) остается основным, потребление кислот на эти цели увеличивается с каждым годом. Соответственно, и возрастают объемы кислых железосодержащих сточных вод и их осадков, размещаемых в накопителях отходов. Это влечет за собой потенциальную угрозу экологической безопасности, а также нерациональное использо-

вание водных ресурсов, ведущее к дополнительным экономическим потерям.

Согласно стратегии развития черной металлургии России до 2030 года внутренний спрос на готовый прокат к 2030 г. может вырасти с 38 млн т в 2013 г. до 67,2 млн т. Производство же увеличится до 90 млн т. Челябинская область является лидером черной металлургии по России, на ее долю приходится треть от общего объема производства стали и металлопроката. Тенденция экономического развития области предусматривает дальнейшее наращивание производственных мощностей [5].

В создавшихся экономических условиях необходимо провести структурную перестройку предприятий, повысить эффективность производства металлопродукции путем внедрения и развития замкнутых систем водопользования, а также избежать катастрофического загрязнения природных водных объектов промышленными сточными водами вследствие значительного роста производства промышленной продукции.

Сегодня внедрение замкнутых систем водопользования является единственным рациональным решением проблемы использования воды в черной металлургической промышленности.

В черной металлургии после использования воды образуются сточные воды: отработанные травильные растворы, промывные воды от промывки металла после травления, маслосодержащие сточные воды, сточные воды, загрязненные преимущественно механическими примесями, низкоконцентрированные кислые железосодержащие воды, высококонцентрированные кислые железосодержащие отработанные растворы, кислые сточные воды, не содержащие ионов тяжелых металлов, смешанные кислотнo-щелочные воды, обычно содержащие соли натрия, сточные воды, содержащие соли синильной, двуххромовой кислот [6, 7].

Главной задачей утилизации сточной воды является ее нейтрализация, подготовка до требуемого в производственном процессе качества и подача на производство [8].

Нейтрализация кислых железосодержащих сточных вод осуществляется с помощью известкового молока, извести пушонки, а также отходов производства, содержащих соединения кальция и магния (феррохромовый шлак, глинистая пыль).

Основной целью данной работы является определение исходных данных для разработки технологии обезвреживания кислых железосодержащих сточных вод с целью совершенствования водоснабжения и водоотведения черной металлургии. Для этого в лаборатории ГИСиС проведены исследования по определению требуемых доз перечисленных выше реагентов и эффективности обезвреживания. Результаты исследований сведены в таблицы и отражены графически.

Принципиально новый подход, основанный на лабораторных исследованиях, позволяет выйти на новый уровень водоподготовки, а также повысить конкурентоспособность предприятий за счет снижения себестоимости продукции путем оптимизации расходов на очистку воды.

В сточных водах основным источником загрязнения является сульфат железа и серная кислота. Обезжелезивание является многофакторным процессом, зависящим от концентрации загрязнений, вида загрязнений, дисперсности примесей, механического воздействия (встряхивание, перемешивание), pH, щелочности, кислотности, действия электрических и магнитных полей и электромагнитного излучения. Определение оптимальной дозы реагентов и отходов для обезвреживания кислых железосодержащих сточных вод должно осуществляться путем проведения пробных экспериментов [9–11].

В результате проведения лабораторных исследований кислой железосодержащей сточной воды установлено, что для выделения растворенных соединений железа из этих вод требуется обработка щелочными реагентами с доведением pH до 8,5–9. Образующиеся хлопья железа в виде  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , которые появляются в результате контакта кислорода воздуха с  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , выпадают в осадок [12].

Для сравнения расчетных доз, определенных по известным методикам, с фактическими дозами, а также определения оптимального количества реагента расчетные дозы с учетом содержания CaO были увеличены или уменьшены на 15–20 % [13].

Лабораторные исследования проведены на сточных водах с различной концентрацией железа и серной кислоты.

Водородный показатель сточной воды № 1 pH = 3, концентрация железа  $C_{\text{Fe}} = 418$  мг/л, концентрация сульфата железа  $C_{\text{FeSO}_4} = 398$  мг/л, концентрация серной кислоты  $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 398$  мг/л. Расчетная доза извести  $D_{\text{изв}} = 496$  мг/л.

Тогда дозу реагентов каждого вещества сведем в табл. 1. Данные о результатах осаждения приведены в табл. 2.

Определение оптимальной дозы реагента графически показано на рис. 1.

По результатам исследования установлено, что наилучший результат показывает феррохромовый шлак с расчетной дозой 80 %.

Водородный показатель сточной воды № 2 pH = 3,5, концентрация железа  $C_{\text{Fe}} = 543,6$  мг/л, концентрация сульфата железа  $C_{\text{FeSO}_4} = 1467,7$  мг/л, концентрация серной кислоты  $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 601,2$  мг/л.

Расчетная доза извести  $D_{\text{изв}} = 598$  мг/л.

Тогда дозу реагентов каждого вещества сведем в табл. 3. Данные о результатах осаждения приведены в табл. 4.

Определение оптимальной дозы реагента графически показано на рис. 2.

Результаты второй серии исследований показали, что перспективным реагентом для обезвреживания кислых железосодержащих сточных вод является также феррохромовый шлак с дозой 80 % от расчетной.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что для обезвреживания «кислых» железосодержащих сточных вод, образующихся в черной металлургии, перспективным реагентом является отход производства самой черной металлургии – это феррохромовый шлак. Особо важным результатом можно считать, что по сравнению с расчетными дозами необходимая доза составляет всего 80 %. Использование отходов самого производства для очистки сточных вод прекрасно вписывается в современную тенденцию по созданию безотходного, экологичного производства, апогеем которого является комплексное использование отходов для их взаимной нейтрализации [13–16].

Результаты этих исследований рекомендуется использовать для проектирования комплексов очистных сооружений на основе ресурсосберегающих решений [17, 18].

При этом обезвреженный «кислый» железосодержащий сток можно использовать на производственные нужды черной металлургии, что позволяет совершенствовать систему водоснабжения и водоотведения данной отрасли. А осадок является вторичным сырьем для извлечения железа.

Таблица 1

Определение доз реагентов для сточной воды № 1

№ цилиндра		1	2	3
Коэффициент введения дозы		1	0,8	1,2
Известковое молоко	$C_{CaO} = 106,5$ мг/мл	2,33	1,86	2,79
Известь пушонка	$C_{CaO} = 52$ мг/мл	4,77	3,82	5,72
Феррохромовый шлак	$C_{CaO} = 45,5$ мг/мл	5,45	4,36	6,54
Глинистая пыль	$C_{CaO} = 38$ мг/мл	6,53	5,22	7,83

Таблица 2

Кинетика отстаивания образования осадка в процессе обезвреживания сточной воды № 1

Количество используемого реагента	Время реакции, мин	1	3	5	10	15	25	30
		Высота столба, мм						
Известковое «молоко»	0,8	150	125	100	90	95	85	80
	1	170	150	120	130	120	110	105
	1,2	225	200	150	150	130	120	115
Известь пушонка	0,8	70	50	40	40	40	40	45
	1	120	90	50	55	60	50	55
	1,2	130	100	90	65	60	70	70
Феррохромовый шлак	0,8	50	20	20	20	20	20	20
	1	60	50	45	40	40	40	40
	1,2	70	55	50	50	45	45	50
Известково-глинистая пыль	0,8	65	50	40	35	45	35	30
	1	100	90	80	60	60	55	55
	1,2	160	140	110	90	75	90	80

Таблица 3

Определение доз реагентов для сточной воды № 2

№ цилиндра		1	2	3
Коэффициент введения дозы		1	0,8	1,2
Известковое молоко	$C_{CaO} = 106,5$ мг/мл	2,81	2,25	3,37
Известь пушонка	$C_{CaO} = 52$ мг/мл	5,75	4,60	6,90
Феррохромовый шлак	$C_{CaO} = 45,5$ мг/мл	6,57	5,26	7,89
Глинистая пыль	$C_{CaO} = 38$ мг/мл	7,87	6,29	9,44

Таблица 4

Кинетика отстаивания образования осадка в процессе обезвреживания сточной воды № 2

Количество используемого реагента	Время реакции, мин	1	3	5	10	15	25	30
		Высота столба, мм						
Известковое молоко	0,8	165	115	93	77	66	60	55
	1	175	150	120	77	63	52	47
	1,2	238	210	180	110	100	84	79
Известь пушонка	0,8	81	62	52	40	40	33	28
	1	150	120	91	50	45	34	29
	1,2	160	145	114	92	65	55	55
Феррохромовый шлак	0,8	61	35	33	29	28	26	26
	1	72	62	55	45	42	38	36
	1,2	83	71	56	48	46	42	42
Известково-глинистая пыль	0,8	75	60	50	39	36	33	33
	1	124	109	98	63	47	38	36
	1,2	183	160	144	89	73	88	80

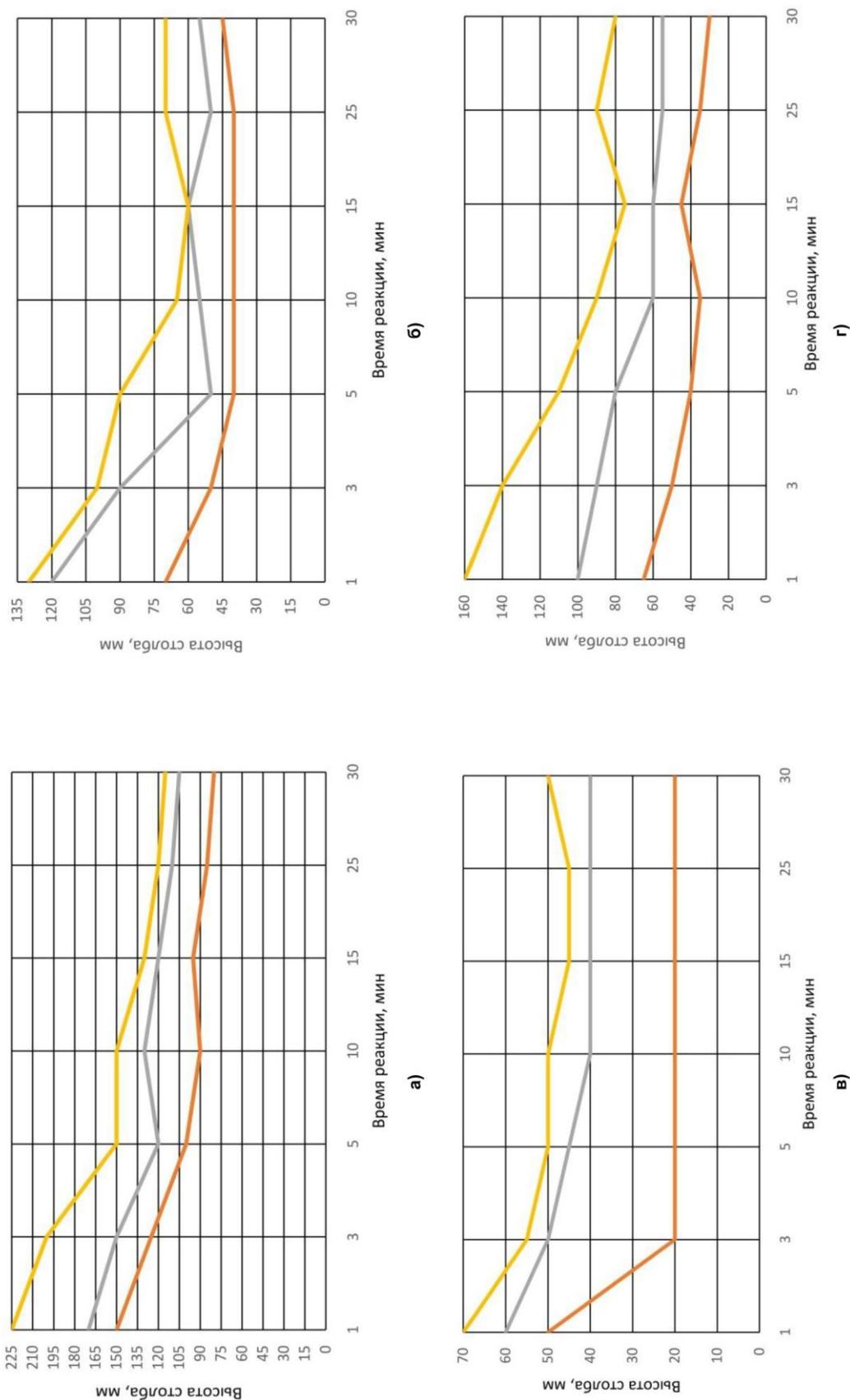


Рис. 1. Кинетика осаждения осадка при нейтрализации сточной воды № 1:  
 а – известковым молоком; б – известью пушонкой; в – феррохромовым шлаком; г – известково-глинистой пылью  
 Коэффициенты введения дозы: — 0,8 — 1 — 1,2

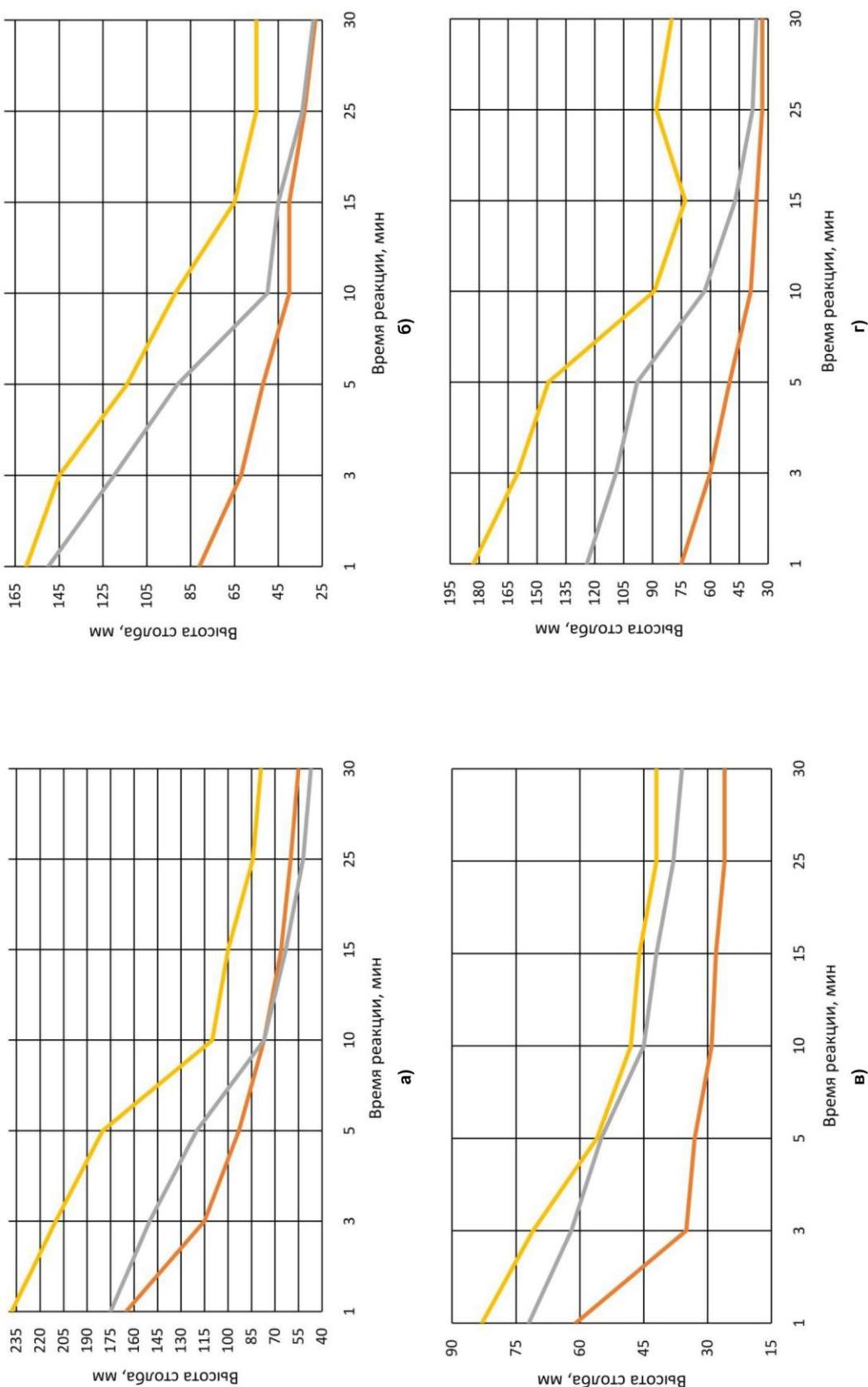


Рис. 2. Кинетика осаждения осадка при нейтрализации сточной воды № 2:  
 а – известковым молоком; б – известью пушонкой; в – феррохромовым шлаком; г – известково-глинистой пылью  
 Коэффициенты введения дозы: — 0,8 — 1 — 1,2

**Литература**

1. Ульрих, Д.В. Обоснование проектных ресурсосберегающих решений в водохозяйственном комплексе промышленных предприятий. Ч. 1. Современные технологии и аппаратурное оформление в системе промышленного водоснабжения / Д.В. Ульрих, И.А. Аркианова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2016. – 119 с.
2. Arkanova, I.A. Ecological Aspects of Condition of Ground Deposits in Shershnevsky Reservoir / I.A. Arkanova, S.E. Denisov, D.Y. Knutarev // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2017. – No. 262. – 012203.
3. Аркианова, И.А. Реконструкция береговой насосной станции, совмещенной с водозабором, без остановки работы ПАО «Челябинский металлургический комбинат» / И.А. Аркианова, А.А. Носков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 52–57.
4. Аксенов, В.И. Замкнутой системе водного хозяйства Верх-Исетского металлургического завода – 40 лет / В.И. Аксенов // Сталь. – 2014. – № 8. – С. 104.
5. Канализация населенных мест промышленных предприятий / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат. 2011. – 639 с.
6. Смирнов, Д.Н. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. 5-е изд., перераб и доп. / Д.Н. Смирнов, В.Е. Генкин. – М.: Металлургия, 2012. – 225 с.
7. Рябчиков, Б.Е. Современная водоподготовка / Б.Е. Рябчиков. – М.: ДеЛи плюс, 2013. – 680 с.
8. Аркианова, И.А. Очистка сточных вод грязелечебных комплексов с применением коагулянта / И.А. Аркианова, П.А. Марков, Е.А. Маркова // Научные исследования как основа инновационного развития общества: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Самара, 11 июня 2019 г. – 2019. – С. 48–52.
9. Аксенов, В.И. Травильно-регенерационные комплексы / В.И. Аксенов, С.Е. Шеклеин, В.Л. Подберезный. – М.: Теплотехник, 2006. – 237 с.
10. Dalan, J.A. Things to know about zero liquid / J.A. Dalan, D.K. Duke // Chemical Engineering Progress. – 2000. – V. 96, is.11. – P. 71–76.
11. Сватовская, Л.Б. Новый строительный материал из осадка сточных вод / Л.Б. Сватовская // Экология и промышленность России. – 2005. – № 10. – С. 20–21.
12. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия: учебник для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – 6-е изд. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.
13. Леонов, Л.И. Отходы: Воздействие на окружающую среду и пути утилизации / Л.И. Леонов, Ю.С. Юсфин, П.И. Черноусов // Экология и промышленность России. – 2003. – № 3. – С. 32–35.
14. Кляйн, С.Э. Экологические проблемы в металлургии. Сточные воды / С.Э. Кляйн, В.В. Воронов, В.И. Аксенов. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. – 441 с.
15. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
16. Алиев, А.Ф. Безотходная технология обезжелезивания кислых вод / А.Ф. Алиев // Химия и технология воды. – 2007. – № 6.
17. Ульрих, Д.В. Обоснование проектных ресурсосберегающих решений в водохозяйственном комплексе промышленных предприятий. Ч. 2. Современные технологии и аппаратурное оформление в системе промышленного водоотведения / Д.В. Ульрих, И.А. Аркианова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 132 с.
18. Гладун, В.Д. Неорганические сорбенты из техногенных отходов для очистки сточных вод промышленных предприятий / В.Д. Гладун, Н.Н. Андреева // Экология и промышленность России. – 2000. – № 5. – С. 17–20.

**Аркианова Ирина Анатольевна**, кандидат технических наук, профессор кафедры градостроительства, инженерных сетей и систем, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск); waterbas@mail.ru

**Доманцевич Николай Дмитриевич**, студент магистратуры (гр. АСЗ-391), Архитектурно-строительный институт, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск)., domancevich1996@mail.ru

Поступила в редакцию 11 декабря 2020 г.

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF REVERSE CYCLES AT FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

I.A. Arkanova, [waterbas@mail.ru](mailto:waterbas@mail.ru)

N.D. Domantsevich, [domancevich1996@mail.ru](mailto:domancevich1996@mail.ru)

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Cities, and ferrous metallurgy enterprises located in them, which are the basis of the industrial and economic power of the country, provide an intense impact on the environment. The issues of rational use of natural resources, the search for effective methods of protecting the environment, the development of perfect systems for the preparation and use of water, and wastewater treatment have acquired particular relevance for ferrous metallurgy enterprises. This article discusses the disadvantages of the method for calculating the required amount of reagent for the purification of acidic iron-containing industrial wastewater. In the research, the dependence of the quality of wastewater treatment on the amount of reagent used, with consideration to all the factors that can have both a positive and a negative effect on the treatment process, has been identified and documented.

*Keywords:* acidic iron-containing wastewater, wastewater treatment, deferrization and neutralization, wastewater treatment methods, wastewater, ferrous metallurgy.

### References

1. Ul'rikh D.V., Arkanova I.A. *Obosnovaniye proyektnykh resursoberegayushchikh resheniy v vodokhozyaystvennom komplekse promyshlennykh predpriyatiy. Chast'1. Sovremennyye tekhnologii i apparaturnoye oformleniye v sisteme promyshlennogo vodosnabzheniya* [Justification of Design Resource-Saving Solutions in the Water Management Complex of Industrial Enterprises. Part 1. Modern Technologies and Hardware Design in the Industrial Water Supply System]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2016. 119 p.
2. Arkanova I.A., Denisov S.E., Knutarev D.Y. [Ecological Aspects of Condition of Ground Deposits in Shershnevsky Reservoir]. *MS&E*, 2017, no. 262(1).
3. Arkanova I.A., Noskov A.A. [Reconstruction of a Coastal Pumping Station, Combined with a Water Intake, without Stopping the Work of PJSC "Chelyabinsk Metallurgical Plant"]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 52–57. (in Russ.) DOI: 10.14529/build160409.
4. Aksenov V.I. [The Closed Water Management System of the Verkh-Isetsk Metallurgical Plant is 40 Years Old]. *Stal'*, 2014, no. 8, pp. 104. (in Russ.)
5. Likhachev N.I., Larin I.I., Khaskin S.A. *Kanalizatsiya naseleennykh mest promyshlennykh predpriyatiy* [Sewerage of Populated Areas of Industrial Enterprises]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2011. 639 p.
6. Smirnov D.N., Genkin V.E. *Ochistka stochnykh vod v protsessakh obrabotki metallov* [Wastewater Treatment in Metal Working Processes]. Moscow, Metallurgiya, 2012, 225 p.
7. Ryabchikov B.E. *Sovremennaya vodopodgotovka* [Modern Water Treatment]. Moscow, 2013. 680 p.
8. Arkanova I.A., Markov P.A., Markova E.A. [Wastewater Treatment of Mud Treatment Complexes with the Use of a Coagulant]. *Naukoyemkiye issledovaniya kak osnova innovatsionnogo razvitiya obshchestva. sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science-Intensive Research as the Basis of Innovative Development of Society. Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference], 2019, pp. 48–52. (in Russ.)
9. Aksenov V.I., Sheklein S.E., Podbereznny V.L. *Travil'no-regeneratsionnyye komplekсы* [Pickling and Regeneration Complexes]. Moscow, Teplotekhnika Publ., 2006. 237 p.
10. Dalan J.A., Duke D.K. [Things to Know about Zero Liquid]. *Chemical Engineering Progress*, 2000, vol. 96, iss. 11, pp. 71–76.
11. Svatovskaya L.B. [New Building Material from Sewage Sludge]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2005, no. 10, pp. 20–21. (in Russ.)
12. Voskoboynikov V.G., Kudrin V.A., Yakushev A.M. *Obshchaya metallurgiya* [General Metallurgy]. Moscow, IKTs Akademkniga Publ., 2002. 768 p.
13. Leonov L.I., Yusfin Yu.S., Chernousov P.I. [Waste: Impact on the Environment and Ways of Disposal]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2003, no. 3, pp. 32–35. (in Russ.)
14. Klyayn S.E., Voronov V.V., Aksenov V.I. *Ekologicheskiye problemy v metallurgii. Stochnyye vody* [Environmental Problems in Metallurgy. Waste Water]. Ekaterinburg, UGTU-UI Publ., 2005. 441 p.
15. Yakovlev S.V., Voronov Yu.V. *Vodootvedeniye i ochistka stochnykh vod* [Water Disposal and Wastewater Treatment]. Moscow, ASV Publ., 2004. 704 p.

16. Aliyev A.F. [Waste-Free Technology for Deironing Acidic Waters]. Kiyev, Natsional'naya Akademiya Nauk Ukrainy Publ., 2007, vol. 29, no. 6, pp. 574–581. (in Russ.)

17. Ul'rikh, D.V., Arkanova I.A. *Obosnovaniye proyektnykh resursosberegayushchikh resheniy v vodokhozyaystvennom komplekse promyshlennykh predpriyatiy. Chast' 2. Sovremennyye tekhnologii i apparaturnoye oformleniye v sisteme promyshlennogo vodootvedeniya* [Justification of Design Resource-Saving Solutions in the Water Management Complex of Industrial Enterprises. Part 2. Modern Technologies and Instrumentation in the Industrial Drainage System]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2016. 132 p.

18. Gladun V.D., Andreyeva N.H. [Inorganic Sorbents From Industrial Wastes for Wastewater Treatment of Industrial Enterprises]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2000, no. 5, pp. 17–20. (in Russ.)

*Received 11 December 2020*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Аркианова, И.А. Перспективы развития оборотных циклов на предприятиях черной металлургии / И.А. Аркианова, Н.Д. Доманцевич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 59–67. DOI: 10.14529/build210108

#### FOR CITATION

Arkanova I.A., Domantsevich N.D. Prospects for the Development of Reverse Cycles at Ferrous Metallurgy Enterprises. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 1, pp. 59–67. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210108

---