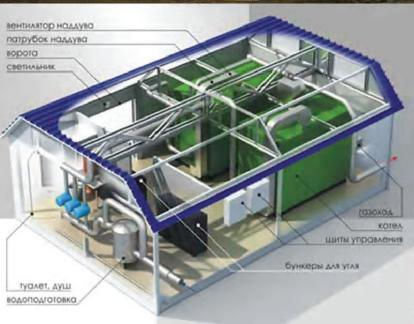
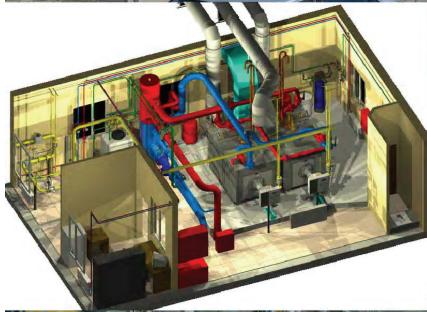


ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



Выпуск 2020-5(145)

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры"

ВЕСТНИК
Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издаётся с декабря 1995 года
Выходит 8 раз в год

Выпуск 2020-5(145)

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Макеевка 2020

ДОУ ВПО "Донбаська національна академія
будівництва і архітектури"

ВІСНИК

**Донбаської національної академії
будівництва і архітектури**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Видається з грудня 1995 року
Виходить 8 разів на рік

Випуск 2020-5(145)

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ
ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2020

Основатель и издатель

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094
выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации.

В случае использования материалов ссылка на «Вестник ДонНАСА» является обязательной.

Выпускается по решению ученого совета
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
Протокол № 2 от 26.10.2020 г.

Редакционный совет:

Горохов Е. В., д. т. н., профессор – главный редактор;
Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор – зам. гл. редактора (научный редактор);
Югов А. М., д. т. н., профессор – технический редактор;
Лукьянов А. В., д. т. н., профессор – ответственный редактор выпуска.

Редакционная коллегия:

| | |
|---------------------------------------|---|
| Андрийчук Н. Д., д. т. н., профессор; | Найманов А. Я., д. т. н., профессор; |
| Высоцкий С. П., д. т. н., профессор; | Насонкина Н. Г., д. т. н., профессор; |
| Горохов Е. В., д. т. н., профессор; | Нездойминов В. И., д. т. н., профессор; |
| Куликов Н. И., д. т. н., профессор; | Олексюк А. А., д. т. н., профессор; |
| Лукьянов А. В., д. т. н., профессор; | Сердюк А. И., д. т. н., профессор; |
| Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор; | Удовиченко З. В., к. т. н., доцент. |

Корректоры Л. М. Лещенко, Е. В. Гнездилова
Программное обеспечение С. В. Гавенко
Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 16.11.2020

Адрес редакции и издателя

86123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2,
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
Телефоны: +38(062) 343-7033; +38(062) 343-7028
E-mail: vestnik@donnasa.ru, http://vestnik.donnasa.ru

Приказом МОН ДНР № 464 от 02.05.2017 г. журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Выпущено в полиграфическом центре
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
86123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2

© ГОУ ВПО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры», 2020

Засновник і видавець

ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Свідоцтво про реєстрацію засобу масової інформації серія ААА № 000094
видано 17.01.2017 р. Міністерством інформації ДНР

Автори надрукованих матеріалів несуть відповідальність за вірогідність наведених відомостей, точність даних за цитованою літературою і за використання в статтях даних, що не підлягають відкритій публікації.

У випадку використання матеріалів посилання на «Вісник ДонНАБА» є обов'язковим.

Випускається за рішенням Вченої ради
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Протокол № 2 від 26.10.2020 р.

Редакційна рада:

Горохов Є. В., д. т. н., професор – головний редактор;
Мущанов В. П., д. т. н., професор – заст. гол. редактора (науковий редактор);
Югов А. М., д. т. н., професор – технічний редактор;
Лук'янов О. В., д. т. н., професор – відповідальний редактор випуску.

Редакційна колегія:

| | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Андрійчук М. Д., д. т. н., професор; | Найманов А. Я., д. т. н., професор; |
| Висоцький С. П., д. т. н., професор; | Насонкина Н. Г., д. т. н., професор; |
| Горохов Є. В., д. т. н., професор; | Нездоймінов В. І., д. т. н., професор |
| Куліков М. І., д. т. н., професор; | Олексюк А. О., д. т. н., професор; |
| Лук'янов О. В., д. т. н., професор; | Сердюк О. І., д. т. н., професор; |
| Мущанов В. П., д. т. н., професор; | Удовиченко З. В., к. т. н., доцент. |

Коректори Л. М. Лещенко, О. В. Гнєздицова
Програмне забезпечення С. В. Гавенко
Комп'ютерне верстання Е. А. Солодкова

Підписано до випуску 16.11.2020

Адреса редакції і видавця
86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
+38(062) 343-7033; +38(062) 343-7028
E-mail: vestnik@donnasa.ru, <http://vestnik.donnasa.ru>

Наказом МОН ДНР № 464 від 02.05.2017 р. журнал включеного до переліку рецензованих наукових видань, в яких повинні бути опубліковані основні наукові результати дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, на здобуття наукового ступеня доктора наук

Випущено у поліграфічному центрі
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

© ДОУ ВПО «Донбаська національна
академія будівництва і архітектури», 2020

УДК 628.477:615.46/.47

В. Н. РАДИОНЕНКО^a, М. В. ДЕМИН^b

^a ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^b ГО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПЕРЕРАБОТКИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКИ, ТРУБОК И ФИКСАЖНЫХ РАСТВОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ (ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос, связанный с переработкой и утилизацией рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов на территории Донецкой Народной Республики. Проанализированы наиболее популярные подходы к извлечению серебра из рассматриваемого сырья, сопоставлены способы и методы с учётом их достоинств и недостатков. Помимо широко распространённых подходов, применяемых на территории Российской Федерации, также учтён международный опыт, являющийся актуальным на сегодняшний день. Приводится информация о создании инновационных технологий для извлечения серебра, на основании чего предложены некоторые рекомендации. Обоснована необходимость создания специализированной организации на территории Донецкой Народной Республики, которая позволит медучреждениям вовремя избавляться от накопления рассматриваемых отходов. Организация имела бы право осуществлять деятельность в сфере переработки и утилизации рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов. Для реализации предложенных способов по недопущению образования излишних рассматриваемых отходов возникает необходимость принятия соответствующих решений на законодательном уровне.

Ключевые слова: отходы, утилизация, переработка, серебро, химические способы, цементация, экологическая безопасность.

ЦЕЛЬ

Анализ и обоснование проблемы утилизации и переработки рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов как приоритетной задачи для избавления медучреждений от накопления рассматриваемых отходов и возможности получения серебра.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

События 2014 года внесли определённые корректизы в работу, пожалуй, всех предприятий и организаций, находящихся на территории ДНР, независимо от видов деятельности и форм собственности. Не исключением явилось функционирование компаний, имеющих возможности утилизировать и перерабатывать рентгеновскую пленку, трубы и фиксажные растворы.

По информации, полученной из государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при главе Донецкой Народной Республики, пункты приема и переработки вышеперечисленного сырья – отсутствуют. Таким образом, все медучреждения, оказывающие услуги в области рентгенографии, обязаны накапливать и хранить отработанный материал до особого распоряжения.

Как известно, радиоактивные элементы, входящие в состав рентгеновской пленки соответствуют всем показателям вредности. Отработанная, просоченная, засвеченная пленка, её обрезки и снимки относятся к медицинским отходам класса Д.

Все фотографические материалы состоят из светочувствительных эмульсионных вспомогательных слоев и подложки. В качестве последней применяются высокополимерные пленки, стекло и

бумага. Фотографические эмульсионные слои содержат галогениды серебра в виде дисперсных кристаллов, равномерно распределенных в желатине. Фотоэмульсионный слой в обычных высушенных светочувствительных материалах содержит 40...60 % галогенидов серебра (обычно AgBr), 30...50 % желатина и 6...10 % воды. Содержание галогенидов серебра в фотографических слоях изменяется в очень широких пределах в зависимости от характера, назначения и типа фотоматериалов.

Содержание серебра в черно-белом изображении зависит от сюжета объекта съемки и других факторов. На построение изображения расходуется меньшая часть серебра из эмульсионного слоя, большая же его часть переходит в фиксажный раствор. В среднем в фиксажный раствор переходит 50...60 % серебра от нанесенного на светочувствительные материалы. В случае фиксирования фотопластинок и фотобумаги этот показатель может достигать 75 %, при фиксировании же цветных пленок, фотопластинок со снимками спектральных линий, пленок с осциллограммами, промышленных и медицинских рентгеновских снимков – 80...90 %.

Отработанные фиксажные растворы, образующиеся у мелких потребителей светочувствительных материалов, обычно содержат 2...7 г/л, редко 14...15 г/л и лишь в исключительных случаях 20 г/л серебра.

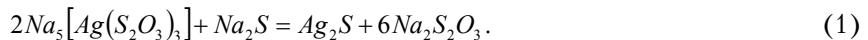
Фиксажные растворы, поступающие на извлечение серебра, весьма неоднородны по составу. Они часто загрязнены посторонними веществами, попадающими в них при транспортировке и в результате смешивания с другими растворами, применяемыми в фотографии, например, при отбеливании, вирировании и т. д. Первые (непроточные) промывные воды от промывки фотоматериалов после фиксирования содержат 1...2 г/л серебра.

В состав отходов пленки и фотобумаги входят изношенные («битые») рентгеновские снимки, различные обрезки кинофотопленки и фотобумаги, бракованные, засвеченные или потерявшие чувствительность из-за долгого хранения фотоматериалы.

Основными накопителями в ДНР этих отходов являются рентгеновские кабинеты медицинских учреждений.

Ниже рассмотрим ряд способов извлечения серебра из отработанных фиксажных растворов. К ним относятся: сульфидный, гидросульфитный, осаждение серебра формалином, осаждение серебра ронгалитом, восстановление серебра металлами, ионообменный способ, электролитический способ.

Сульфидный способ. Важнейшим неметаллическим реагентом для извлечения серебра является сернистый натрий $Na_2S \cdot 9H_2O$. Из всех реагентов, предложенных для осаждения серебра, он наиболее доступен, дешев и надежен по полноте и быстроте протекания реакции, которая описывается уравнением



Сульфидный способ осаждения серебра основан на малом значении произведения растворимости

$$2[Ag^+] [S^{2-}] = 6,3 \cdot 10^{-50}. \quad (2)$$

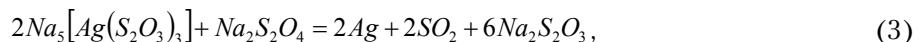
Концентрация серебра в насыщенном водном растворе сульфида серебра составляет около $5 \cdot 10^{-15}$ г/л. В растворе гипосульфита она резко возрастает за счет образования комплексов, но все же достигает только величин порядка сотых долей миллиграмма в литре.

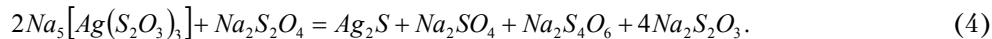
Реакция осаждения Ag_2S в условиях перемешивания протекает практически мгновенно и до конца. Однако Ag_2S выпадает в виде очень тонких частиц, длительность отстаивания которых велика (десятка часов). Скорость отстаивания зависит от дисперсности частиц, которая определяется исходной концентрацией серебра в растворе и зарядом частиц Ag_2S . Чем ниже исходная концентрация серебра, тем дисперсией частицы Ag_2S и тем медленнее идет отстаивание. При избытке ионов серы или серебра они адсорбируются частицами Ag_2S .

К недостаткам способа относятся:

- медленное отстаивание пульпы и обусловленная этим потребность в больших емкостях, особенно при извлечении серебра из первых промывных вод;
- почти неизбежная грязь при проведении процесса, обусловленная расплыванием сернистого натрия на воздухе;
- выделение сероводорода, требует обязательной установки вентиляции в помещении.

Гидросульфитный способ. Гидросульфит натрия представляет собой кристаллогидрат $Na_2S_2O_4 \cdot 2H_2O$. Осаждение серебра гидросульфитом натрия протекает по реакциям





Реакции протекают медленней, чем при сульфидном способе и требуют подогрева и перемешивания. Серебро осаждается из растворов полностью. Осадок состоит из смеси металлического и сернистого серебра с содержанием до 80 % Ag. Для осаждения 1 г серебра требуется до 6 г технического гидросульфита.

Основное преимущество этого способа заключается в образовании более компактного и легко фильтруемого осадка.

Недостатки способ: необходимость подогрева раствора до температуры выше 40 °C, высокая стоимость и значительный расход реагента. Если технический гидросульфит не упакован в герметичную тару, то он окисляется кислородом воздуха и теряет активность. Кроме того, при осаждении серебра выделяется заметное количество токсичного сернистого газа.

Осаждение серебра формалином. Формалин (*HCOH*) применяется в виде 40%-го раствора. Он в обычных условиях не разлагается и полностью осаждает серебро из фиксажных растворов. Однако удельный расход формалина значительно больше, чем расход других применяемых для осаждения серебра реагентов. Существенным недостатком этого способа является неприятный запах в рабочем помещении, что требует усиленной вентиляции. Для организации этого производства требуется согласие санитарно-эпидемиологической станции.

Осаждение серебра ронгалитом. Ронгалит представляет собой формальдегид-сульфоксилат натрия $CH_2NaHSO_3 \cdot 2H_2O$. При осаждении к фиксажному раствору добавляют ронгалит в тонком порошке в количестве 1,7 г на 1 г серебра. Серебро выделяется в виде металла на стенке реактора. После каждой операции приходится сдирать его с поверхности стенки; при этом возможны потери серебра.

К недостаткам этого способа относится также необходимость организации режима, обеспечивающего сохранность металлического серебра.

Зарубежными патентами предусматривается еще ряд способов извлечения серебра из отработанных фиксажных растворов, например, обработкой их хлором, поваренной солью, йодистым калием, гидролизованным раствором сахара или отработанным проявителем. Тиосульфатный раствор можно также разложить кипячением с выделением сульфида серебра или упариванием с последующей обработкой концентрированной азотной кислотой.

Выбор химического способа осаждения серебра определяется местными условиями, в первую очередь доступностью реагентов.

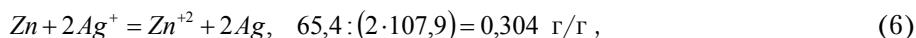
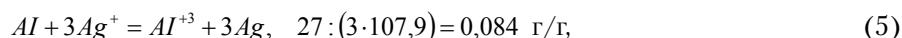
Наибольшее распространение из химических способов в лабораториях и централизованных пунктах получил сульфидный способ.

Восстановление серебра металлами. Способ цементации серебра из фиксажных растворов более электроотрицательными металлами привлекателен тем, что он лишен недостатков, присущих описанным выше химическим способам, – реагенты дешевы, недефицитны и не выделяют вредных газов. В качестве восстановителей используют алюминий, железо и цинк. Исследования зависимости скорости цементации от различных факторов проводились в укрупненном (до 100 л раствора) масштабе. Как правило, растворы характеризуются слабощелочной, реже слабокислой, реакцией.

Опыты с использованием железной стружки – наиболее доступного и дешевого реагента не дали достаточного эффекта; восстановление серебра прекращалось в течение одного часа вследствие образования на поверхности стружки пленок оксидов и серебра, препятствовавших дальнейшей цементации. Последующие опыты проводились только с алюминием (стружка) и цинком (порошок с частицами крупностью ~100 мкм).

На рисунке показано влияние величины поверхности алюминия на скорость цементации.

При определении удельного расхода металлов-восстановителей оказалось, что он значительно превышает теоретически необходимое количество. Так, в соответствии с уравнениями реакций, теоретический расход алюминия и цинка равен соответственно



а фактически он составляет 1,5...2,0 г/г. Сухой шлам от цементации растворов алюминием содержит 58...60 %, а от цементации цинком 40...50 % серебра. Наиболее эффективным и удобным восстановителем является цинковая пыль. Оптимальные условия цементации: температура 18...20 °C и кислотность раствора, не превышающая 0,05 %. Перед осаждением серебра необходимо определить его содержание в отработанных фиксажных растворах и установить дозировку осаждающего реагента.

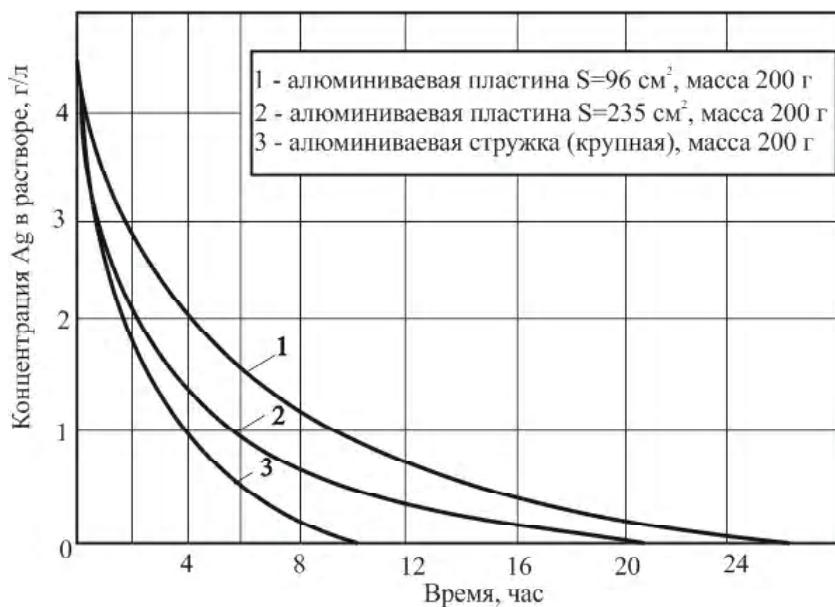


Рисунок – Влияние величины поверхности алюминия на скорость цементации серебра.

Ионообменный способ. В современной металлургии драгоценных металлов ионный обмен применяется для извлечения золота и серебра из цианистых и аммиачных растворов, получаемых при переработке руд и концентратов, содержащих эти металлы.

При переработке фиксажных растворов этот способ еще не приобрел промышленного значения, хотя многочисленные исследования, проведенные в Российской Федерации и за рубежом, свидетельствуют о его перспективности. Для извлечения серебра из фиксажных растворов за рубежом применяются в основном сильноосновные аниониты типа Даэкс (фирма Dow Chemical, США), поглощающие тиосульфатные комплексы серебра без разложения. Эти комплексы полностью извлекаются при элюировании 6%-ным раствором NaCl .

При высокой концентрации серебра в растворах этот способ нерентабелен из-за большого расхода дорогих смол и трудности их регенерации. Однако он может быть широко использован для улавливания серебра, присутствующего в небольших концентрациях в промывных водах и растворах, содержащих серебро порядка 0,003...0,005 г/л, сбрасываемых в настоящее время в отвал. В одном из зарубежных патентов предполагается извлекать серебро из фотографических растворов очень малых концентраций обработкой раствора активированным лигнином. Поглощенное им серебро извлекается в виде AgNO_3 обработкой лигнина азотной кислотой.

Электролитический способ. Серебро является одним из наиболее электроположительных металлов. Стандартный электродный потенциал серебра для реакции $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+$ определяется значением $E_0 = +0,799$ В. В тиосульфатных растворах в связи с комплексообразованием активность ионов серебра снижена, и потенциал серебра смещается в сторону электроотрицательных значений. Но и здесь он остается более электроположительным, чем у большинства металлов.

В электродных процессах принимают участие только те ионы, которые находятся на расстоянии ионного радиуса от поверхности электрода. По мере снижения концентрации серебра в общем объеме раствора диффузия его ионов к катоду замедляется, концентрация их в пригородном слое резко уменьшается, а это ведет к росту катодной поляризации.

Рост катодной поляризации при уменьшении концентрации ионов серебра у катода приводит к выделению на катоде серебра в виде порошка. При этом оба катодных процесса – образование порошкообразного металлического серебра и его сульфида – протекают одновременно, но по мере повышения поляризации доля выделения сульфида возрастает. Одновременно увеличивается дисперсность металлической фазы и уменьшается сцепление осадка с катодом.

Кроме выделения серебра и образования его сульфида на катоде протекают некоторые побочные реакции, вызывающие непроизводительный расход тока. В первую очередь к ним относится выделение на катоде водорода, наблюдаемое по образованию пены у катода при электролизе фиксажных растворов.

Анодный процесс при электролизе тиосульфатных растворов заключается в окислении тиосульфатных ионов до тетратионатных



Возможно также образование в результате этого окисления и других политионатов. Значительная часть этих соединений снова восстанавливается у катода до тиосульфата, что вызывает непропорциональный расход тока.

Относительная скорость и последовательность протекания упомянутых выше катодных процессов, определяющие выход по току, зависят от состава фиксажных растворов, содержания в них серебра, плотности тока и температуры. При всех температурах резкое снижение выхода по току наблюдается при переходе от плотности тока, при которой выделяется компактный осадок серебра, к плотности тока, соответствующей выделению шламообразного осадка. Повышение температуры во всех случаях приводит к увеличению выхода по току, особенно сильно при низких концентрациях серебра в растворе. Особенно резко выражена зависимость выхода по току от содержания серебра в растворе. Низкий выход по току в бедных серебром растворах свидетельствует о значительном расходе тока на побочные процессы, не связанные с выделением серебра.

ВЫВОДЫ

Разнообразие вариантов переработки рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов позволяет рассматривать вопрос широкофирматно. Имеющийся международный опыт подтверждает разноплановость в подходе к излагаемой проблеме. Необходимо понимание того, что медучреждения не в состоянии длительное время накапливать в своих стенах довольно-таки вредный материал.

Для решения сложившейся проблемы необходимо на территории Республики создание организации, которая имела бы возможность приема и переработки рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов. Что позволит в целом обеспечить дополнительную экологическую безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Radiographic film waste management in Thailand and cleaner technology for silver leaching [Текст] / P. Khunprasert, N. Grisdanurak, J. Thaveesri [et al.] // Journal of Cleaner Production. – 2008. – Vol 16, No 1. – P. 28–36.
2. Garcia, R. M. The recovery of silver from photographic film: a study of the leaching reaction with cyanide solution for industrial use [Текст] / R. M. Garcia // Hydrometallurgy. – 1986. – Vol. 16, No. 1. – P. 395–500.
3. Gildan, G. Recovery of silver from waste X-ray films and solutions [Текст] / G. Gildan // B. Sc. Thesis (November 24, 2005, Trabzon, Turkey) ; Karadeniz Technical University. – 2005. – Trabzon, Turkey. 2005. – P. 48–56.
4. Recovery of silver from X-ray film by alkaline protease from Conidiobolus Coronatus [Текст] / S. Shankar, S. V. More and Seeta Laxman R. // Kathmandu University Journal Of Science, Engineering And Technology. – 2010. Vol 6(I). – P. 60–69.
5. Synthesis of silver nanoparticles with different shapes [Текст] / B. Khodashenas and H. R. Ghorbani // Arabian Journal of Chemistry. – 2015. Vol 1, No 6. – P. 24–31.

Получено 01.09.2020

В. М. РАДІОНЕНКО^a, М. В. ДЬОМІН^b
ПРО ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕРОБКИ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ПЛІВКИ, ТРУБОК І
ФІКСАЖНИХ РОЗЧИНІВ НА ТЕРИТОРІЇ ДОНЕЦЬКОЇ НАРОДНОЇ
РЕСПУБЛІКИ (ДНР)

^a ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^b ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського»

Анотація. У статті розглянуто питання, пов'язане з переробкою та утилізацією рентгенівської плівки, трубок і фіксажних розчинів на території Донецької Народної Республіки. Проаналізовано найбільш популярні підходи до вилучення срібла з сировини, зіставлені способи і методи з урахуванням їх достоїнств і недоліків. Крім відомих підходів, що застосовуються на території Російської Федерації, також враховано міжнародний досвід, що є актуальним на сьогодні. Наводиться інформація про створення інноваційних технологій для вилучення срібла, на підставі чого запропоновані деякі рекомендації. Обґрунтовано необхідність створення спеціалізованої організації на території Донецької Народної Республіки, що дозволить медустановам вчасно позбавлятися від накопичення розглянутих відходів. Організація має право здійснювати діяльність у сфері переробки та утилізації рентгенівської плівки,

трубок і фіксажних розчинів. Для реалізації запропонованих способів щодо недопущення утворення зливих відходів виникає необхідність прийняття відповідних рішень на законодавчому рівні.

Ключові слова: відходи, утилізація, переробка, срібло, хімічні способи, цементація, екологічна безпека.

VITALY RADIONENKO ^a, MYKHAILO DOMIN ^b ON THE PROSPECTS FOR THE PROCESSING OF X-RAY FILM, TUBES AND FIXING SOLUTIONS IN THE TERRITORY OF THE DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC (DPR)

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky

Abstract. The article discusses the issue related to the processing and disposal of X-ray films, tubes and fixing solutions on the territory of the Donetsk People's Republic. The most popular approaches to the extraction of silver from the raw materials under consideration are analyzed, the methods and methods are compared, taking into account their advantages and disadvantages. In addition to the widespread approaches used on the territory of the Russian Federation, the international experience, which is relevant today, was also taken into account. Information on the creation of innovative technologies for the extraction of silver is provided, on the basis of which some recommendations are proposed. The necessity of creating a specialized organization on the territory of the Donetsk People's Republic, which will allow medical institutions to get rid of the accumulation of the waste in question, is substantiated. The organization would have the right to carry out activities in the field of processing and disposal of X-ray films, tubes and fixing solutions. To implement the proposed methods to prevent the formation of unnecessary waste in question, it becomes necessary to make appropriate decisions at the legislative level.

Key words: waste, disposal, processing, silver, chemical methods, cementation, environmental safety.

Радионенко Виталий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и повторное использование промышленных отходов.

Демин Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры холодильной и торговой техники ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: холодильная и криогенная техника, холодильная технология, современные системы холоснабжения.

Радионенко Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання промислових відходів

Домін Михаїло Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри холодильної і торговельної техніки ДОУ ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: холодильна і кріогенна техніка, холодильна технологія, сучасні системи холоснабження.

Radionenko Vitaly – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling and reuse of industrial waste.

Domin Mykhailo – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Refrigeration and Commercial Equipment Department, Donetsk national University of Economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Scientific interests: refrigeration and cryogenic equipment, refrigeration technology, modern cooling systems.

УДК 628.1:628.2

А. С. ТРЯКИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОЦЕНКА РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ГОРОДОВ ДОНБАССА

Аннотация. В статье приведена оценка рисков функционирования систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса, находящихся в ведении КП «Компания "Вода Донбасса"». Выделены основные аспекты рисков для функционирования систем и построены их взаимосвязи. Определены угрозы работоспособности систем в условиях вооруженного конфликта и их последствия. Выполнен анализ воздействия рисков на функционирование систем водоснабжения и водоотведения. Выявлены четыре основных фактора, которые вызывают остановку процесса производства чистой воды на фильтровальных станциях, станциях подъема, насосных станциях. Подготовлены рекомендации по снижению рассмотренных рисков. Рекомендуется создание благоприятной оперативной обстановки в сфере политики и безопасности, чтобы предприятие «Компания "Вода Донбасса"» могло безопасно и надежно выполнять свои функции по обеспечению жителей Донбасса качественными услугами водоснабжения и водоотведения.

Ключевые слова: система водоснабжения, система водоотведения, оценка рисков, надежность, безопасность, города Донбасса, оперативная обстановка, оперативный потенциал.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

С апреля 2014 год и по нынешнее время вооруженный конфликт на Донбассе оказывает негативное влияние на повседневную жизнь региона. Население, проживающее на территории военного конфликта и в непосредственной близости к ней, вынуждено страдать от частых боевых действий, ограничений передвижений, а также сокращения или полного прекращения в предоставлении таких услуг, как электроснабжение и водоснабжение. Наличие военного конфликта создает множество правовых и административных трудностей в отношении организации и управления деятельностью общего для двух территорий поставщика услуг водоснабжения КП «Компания "Вода Донбасса"». Данное положение дел выявляет ряд отрицательных факторов, которые снижают надежность и безопасность услуг водоснабжения населения Донбасса [1–7].

К тому же водоснабжение региона страдало от системных проблем еще до конфликта. В связи со спадом промышленности и последующим периодом экономической нестабильности потребление воды значительно снизилось. Дальнейшее снижение было обусловлено установкой приборов учета воды, которая способствовала более экономному потреблению особенно бытовыми потребителями.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Система водоснабжения Донбасса – это уникальный комплекс водопроводных и гидротехнических сооружений [6, 9–11]. С весны 2014 года и по настоящее время объекты и инфраструктура данной системы находятся в зоне постоянных боевых действий, что оказывает огромное влияние на качество воды и ее доступность [1–7]. Значительные повреждения за это время получили объекты канала Северский Донец – Донбасс [5, 6]. Трубопроводы, оборудование и здания инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения и до начала военного конфликта находились в состоянии повышенного физического износа [9–11], а в процессе конфликта их состояние только усугубилось. В результате этого ухудшается качество услуг водоснабжения, от чего страдает население региона, и без того находящееся в сложных жизненных условиях [1–4, 8].

Оценка рисков изначально обусловлена некоторым уровнем неопределенности, поскольку связана с попыткой предугадать будущие действия и их последствия. Вероятность наступления и степень воздействия являются предполагаемыми, хотя исторические данные прошлых происшествий важны для получения общего представления и могут использоваться в качестве ориентиров.

Риск можно понимать по-разному. Бюро ООН по снижению риска бедствий определяет риск как сочетание вероятности опасного события и его последствий, что является результатом взаимодействий между природными и техногенными угрозами, уязвимостью и подверженностью [12]. Под уязвимостью можно понимать восприимчивость к последствиям особого события (угрозы). Подверженность угрозе, еще один из ключевых элементов в этой структуре риска, подразумевает наличие и количество людей, инфраструктуры или услуг в районе, где может произойти определенное опасное событие. Уязвимость и подверженность варьируются и могут иметь социальные, экономические, экологические и географические аспекты.

$$\text{Риск} = \text{Угроза} \times \text{Подверженность} \times \text{Уязвимость}.$$

С концепцией риска тесно связана концепция устойчивости. Под устойчивостью обычно понимают способность переносить внешние воздействия и восстанавливаться после них, таким образом снижая негативные последствия событий в части интенсивности и продолжительности.

Целью работы является оценка рисков функционирования систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Объектом данного исследования является система водоснабжения городов Донбасса, которую обслуживает КП «Компания "Вода Донбасса"». Ежедневно данное предприятие поставляет до 1,3 млн м³ питьевой воды 3,9 млн потребителей и 0,3 млн м³ неочищенной (технической) воды промышленным предприятиям. КП "Компания "Вода Донбасса" осуществляет управление и эксплуатацию следующих объектов: канал Северский Донец – Донбасс длиной 132 км, в том числе четыре станции подъема; Южно-Донбасский водовод; Второй Донецкий водовод; 17 водохранилищ общим объемом 775 млн м³; 11 950 км трубопроводов системы водоснабжения; 18 фильтровальных станций производительностью 2,79 млн м³/сут; 246 водопроводных насосных станций; 299 артезианских скважин; 3 346 км канализационных трубопроводов; 164 канализационных насосных станций; 54 канализационных очистных сооружений.

С целью выявления отрицательных факторов функционирования систем водоснабжения и водоотведения была собрана информация по работе данного предприятия, а также по происшествиям, связанным с вооруженным конфликтом на Донбассе, которые затронули инфраструктуру предприятия и нарушили нормальное функционирование всей системы водоснабжения [13].

В настоящее время основные риски централизованного водоснабжения в городах Донбасса в значительной степени определяются существовавшими ранее не идеальными условиями и усугубляются ситуацией вооруженного конфликта. Надежное, достаточное и безопасное водоснабжение населения имеет центральное значение для данной оценки рисков. Предоставление услуг зависит от трех составляющих критической важности: людей, материалов и инфраструктуры. Рассматривая эти элементы в структуре рисков, можно выделить следующие основные аспекты рисков для функционирования системы водоснабжения городов Донбасса:

- 1) основные составляющие услуги КП «Компания "Вода Донбасса"» – персонал, инфраструктура и расходные материалы;
- 2) финансовое состояние КП «Компания "Вода Донбасса"»;
- 3) военные действия, в том числе их местоположение и интенсивность;
- 4) политическая и институциональная среда, в том числе статус предприятия и экономические санкции.

Первые два аспекта отражают оперативный потенциал компании и, таким образом, ее устойчивость. Последние два образовывают оперативную обстановку, сложившуюся в условиях вооруженного конфликта и оказывающую воздействие на способность компании функционировать и реагировать на происшествия.

Взаимосвязи между аспектами рисков показаны на рисунке. Угрозы появляются сверху и реализуются в качестве рисков в зависимости от уязвимости и подверженности компонентов оперативного потенциала.



Рисунок – Взаимосвязи между аспектами рисков.

Финансовое состояние КП «Компания "Вода Донбасса"» за последнее время ухудшалось в связи со следующими факторами:

- значительное снижение объемов реализации воды с начала вооруженного конфликта;
- себестоимость реализованной воды остается выше существующих тарифов;
- неспособность водоканалов заплатить за потребляемую воду;
- снижение уровня оплаты услуг;
- увеличение убытков;
- значительные затраты на электроснабжение.

Риски, связанные с военными действиями, обусловлены неустойчивой работой систем водоснабжения и водоотведения. Проанализировав зафиксированные происшествия на инфраструктуре систем водоснабжения и водоотведения, выявлено, что наиболее распространенными причинами отказов данных систем являются отключение электроснабжения и повреждения трубопроводов, оборудования и зданий инфраструктуры; транспортировка и своевременная доставка на очистные сооружения реагентов, необходимых для подготовки питьевой воды и очистки сточных вод. Вследствие военных действий значительно увеличилась эксплуатационная нагрузка на системы водоснабжения и водоотведения, которые и до начала военных действий имели значительный физический износ. Весь этот комплекс отрицательных факторов в работе системы водоснабжения региона несет большую угрозу жизни и здоровью населения [13].

Неустранимые повреждения и проявления неэффективности инфраструктуры и оборудования могут стать причиной существенных потерь воды и даже остановки водоснабжения. Недоработки в функционировании всей системы существовали и до конфликта, но ситуация ухудшается, так как повреждения и сбои, связанные с конфликтом, продолжают происходить и дальше. Угрозы в этой области включают в себя:

1. Амортизация основных средств предприятия составляет 70 % в среднем, некоторые объекты инфраструктуры изношены на 95...100 %.
2. Техническое обслуживание объектов инфраструктуры имеет скорее реагирующий характер, чем предупреждающий, отсутствует стратегическое управление инфраструктурой предприятия. Из-за недостатка средств стандартное профилактическое техническое обслуживание и капитальный ремонт электромеханического оборудования не проводится в полном объеме и в положенные сроки. В результате чего данное оборудование становится более склонным к отказам, а период эксплуатации значительно снижается.

3. Функционирование инфраструктуры водоснабжения полностью зависит от наличия электро-питания. Система была спроектирована тогда, когда промышленные предприятия требовали больших объемов воды для своих технологических процессов, а численность населения росла. К тому же электроэнергия в то время была дешевой, а энергоемкость оборудования не представляла никакой проблемы.

4. Ухудшение качества питьевой воды вследствие изношенной инфраструктуры. Дозирующее оборудование на большинстве фильтровальных станций требует обслуживания или замены для устранения его неэффективности. Дозировка химических реагентов в больших дозах с целью перестраховки ускоряет истощение их запасов и способствует образованию побочных продуктов дезинфекции, которые являются канцерогенными. Значительный износ трубопроводов зачастую становится причиной вторичного загрязнения питьевой воды.

Все выявленные опасности, угрожающие услугам водоснабжения, вытекают из существующей оперативной обстановки, и при этом уязвимость и подверженность уже заложены в оперативном потенциале предприятия. Ни одна из выявленных угроз не возникает самостоятельно, последствия одного опасного события еще более усиливают кумулятивный эффект, и он усугубляет определенные уязвимости или приводит к наступлению другого опасного события.

Учитывая, что водоснабжение Донбасса работает как единая система, все рабочие компоненты – инфраструктура, персонал и расходные материалы – подвержены рискам, связанным с политической средой и с финансовым состоянием предприятия, независимо от их месторасположения. В отличие от этого, лишь те рабочие компоненты, которые расположены в непосредственной близости к линии разграничения, подвержены прямому воздействию рисков, связанных с военными действиями, которые могут иметь более масштабные последствия.

Основными нежелательными последствиями описанных угроз являются:

- пострадавшие среди населения и персонала предприятия водоснабжения;
- полная или частичная остановка подачи воды населению;
- подача неочищенной воды или питьевой воды недллежащего качества.

Воздействие рисков, выявленных ранее, может быть прямым и непрямым (таблица).

Таблица – Анализ прямых и непрямых рисков

| Характеристика риска | Последствия | | |
|---|--------------|------------|---------------|
| | пострадавшие | объем воды | качество воды |
| 1. Риски, связанные с военными действиями | | | |
| 1.1. Здоровье и безопасность персонала | прямые | – | – |
| 1.2. Прямые повреждения инфраструктуры и оборудования | – | прямые | прямые |
| 1.3. Увеличение числа отказов оборудования | – | прямые | прямые |
| 1.4. Снижение способности реагировать на отказы | – | прямые | прямые |
| 1.5. Ухудшение очистки воды | – | прямые | прямые |
| 1.6. Потеря операционных данных | – | непрямые | непрямые |
| 2. Риски, связанные с политической и институциональной средой | | | |
| 2.1. Работа предприятия в условиях несовершенства нормативно-правовой среды | непрямые | непрямые | непрямые |
| 2.2. Нарушение нормальной работы предприятия | непрямые | прямые | прямые |
| 3. Риски, связанные с финансовым состоянием предприятия | | | |
| 3.1. Воздействие на персонал | – | непрямые | непрямые |
| 3.2. Воздействие на инфраструктуру, оборудование и услуги | – | прямые | прямые |
| 3.3. Ухудшение качества питьевой воды | – | – | прямые |

Подача достаточного количества воды надлежащего качества важна не только для здоровья и благополучия гражданского населения, но и для предоставления других основных услуг, таких как централизованное отопление, водоотведение, а также для нормального функционирования промышленных предприятий.

Эффективное функционирование инфраструктуры и оборудования системы водоснабжения имеет самое непосредственное воздействие на производство достаточного количества воды надлежащего качества. Существует четыре основных фактора, которые вызывают остановку процесса производства

чистой воды на фильтровальных станциях, станциях подъема, насосных станциях (аналогичное воздействие на инфраструктуру системы водоотведения):

1. Эвакуация персонала в связи с опасной обстановкой.
2. Отключение электроэнергии или прекращение поставки других основных производственных ресурсов, например химических реагентов.

3. Остановка подачи воды на предыдущем объекте.

4. Отказ операционных элементов, конкретные повреждения.

Военные действия оказывают прямое воздействие на все четыре фактора, а политическая среда и финансовое состояние косвенно воздействуют на три последних.

ВЫВОДЫ

Услуги водоснабжения, предоставляемые КП «Компания "Вода Донбасса"», находятся под серьезной и ощутимой угрозой. Сложная ситуация затянувшегося вооруженного конфликта создает для предприятия такие условия работы, которые подрывают ее оперативный потенциал. КП «Компания "Вода Донбасса"» необходима качественная и надежная поддержка в укреплении оперативного потенциала и получении особого правового статуса.

Конфликт сильно ударили по финансовому состоянию компании, так как теперь ей приходится прилагать немалые усилия для того, чтобы справиться с дополнительными затратами из-за повреждений и сбоев оборудования и инфраструктуры. В таких условиях тяжелое финансовое состояние и нестабильная обстановка с безопасностью оказывают вполне предсказуемое влияние на персонал.

Подготовлены рекомендации с целью предотвратить или контролировать ситуации, приводящие к кумулятивным воздействиям, а именно:

1. Снизить вероятность и частоту наступления опасных событий.

2. Укрепить базовую устойчивость системы водоснабжения там, где она уже снижена до критического уровня.

3. Смягчить тяжесть последствий по мере возможности.

Помимо приведенных рекомендаций, имеющих цель укрепление оперативного потенциала, необходимо создать благоприятную оперативную обстановку в сфере политики и безопасности, чтобы предприятие могло безопасно и надежно выполнять свои функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gleick, Peter, H. Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security [Text] / Peter H., Gleick // International Security. – 1993. – Vol. 18, No. 1. – P. 79–112.
2. Tignino, M. Water, International Peace and Security [Electronic resource] / M. Tignino // International Review of the Red Cross. – 2010. – Vol. 92, No. 879. – P. 647–674. – Access mode : <http://www.icrc.org/eng/assets/files/review/2010/irrc-879-tignino.pdf>.
3. Zolnikov, T. R. The Maladies of Water and War: Addressing Poor Water Quality in Iraq [Electronic resource] / T. R. Zolnikov // Am J Public Health. – 2013. – 103(6). – P. 980–987. – Access mode : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3698740/>.
4. Potential impact of conflict on health in Iraq [Electronic resource] : Briefing note // World Health Organization. – [2003]. – Access mode : https://www.who.int/features/2003/iraq/briefings/iraq_briefing_note/en/.
5. Дрозд, Г. Я. К вопросу оценки технического состояния строительных объектов в условиях поражающих факторов [Текст] / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – 2019. – № 14 (57). – С. 55–70.
6. КП «Компания "Вода Донбасса"» [Электронный ресурс]. – [2000–2020]. – Официальный сайт. – Режим доступа : <http://www.voda.dn.ua/ru/>.
7. Высоцкий, С. П. Критические экологические проблемы Донбасса [Текст] / С. П. Высоцкий // Экологическая ситуация в Донбассе. – 2016. – Том 1. – С. 301–309.
8. WHO/UNICEF. Progress on drinking water and sanitation [Electronic resource] : Joint Monitoring Programme Update 2014./WHO/UNICEF//Water sanitation and health (WSH). – 2014. – 78 p. – Access mode : https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2014/jmp-report/en/.
9. Маслак, В. Н. Трубопроводы водоснабжения: вопросы проектирования, строительства и рациональной эксплуатации [Текст] / В. Н. Маслак, Н. И. Зотов. – Донецк : Вебер, 2007. – 462 с.
10. Водоснабжение [Текст] / С. Б. Никиша, Н. Г. Насонкина, Н. П. Омельченко, В. Н. Маслак и др. – Донецк : ООО «Норд Компьютер», 2006. – 654 с.
11. Найманов, А. Я. О надежности систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / А. Я. Найманов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 7. – С. 30–35.

12. Disaster Risk [Electronic resource] : UNISDR Global Assessment Report 2015 // UNISDR. – 2015. – Access mode : <https://www.preventionweb.net/disaster-risk/risk/disaster-risk/>.
13. Трякина, А. С. Современные проблемы безопасного и надежного водоснабжения городов Донбасса [Текст] / А. С. Трякина, М. Ю. Гутарова // Строительство и техногенная безопасность: науч.-техн. журнал. – 2019. – № 16(68)-2019. – С. 111–116.

Получена 03.09.2020

А. С. ТРЯКІНА

ОЦІНКА РИЗИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА

ВОДОВІДВЕДЕНИЯ МІСТ ДОНБАСУ

ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті наведено оцінку ефективності систем водопостачання та водовідведення населених пунктів Донбасу, що знаходяться в юрисдикції КП «Компанія "Вода Донбасу"». Виділено основні аспекти ризиків для функціонування систем і побудовані їх взаємозв'язки. Визначено загрози працездатності систем в умовах воєнного конфлікту і їх наслідки. Виконано аналіз впливу на функціонування систем водопостачання і водовідведення. Виявлено чотири основні чинники, які викликають зупинку процесу виробництва чистої води на фільтрувальних станціях, станціях підйому, насосних станціях. Підготовлені рекомендації щодо зниження розглянутих ризиків. Рекомендується створення сприятливої оперативної обстановки в сфері політики і безпеки, щоб підприємство «Компанія "Вода Донбасу"» могло безпечно і надійно виконувати свої функції щодо забезпечення жителів Донбасу якісними послугами водопостачання та водовідведення.

Ключові слова: система водопостачання, система водовідведення, оцінка ризику, надійність, безпека, міста Донбасу, оперативна обстановка, оперативний потенціал.

ALYONA TRYAKINA

ASSESSMENT OF RISKS OF FUNCTIONING OF WATER SUPPLY AND SEWAGE SYSTEMS OF THE CITIES OF DONBAS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article provides an assessment of the risks of the functioning of water supply and sewage systems in the cities of Donbas, which are under the jurisdiction of the «Company "Water of Donbas"». The main aspects of risks for the functioning of systems are highlighted and their relationships are built. Threats to the operability of systems in an armed conflict and their consequences have been identified. The analysis of the impact of risks on the functioning of water supply and sewerage systems was carried out. Four main factors are identified that cause the stoppage of the process of producing clean water at filtering stations, lifting stations, pumping stations. Recommendations for reducing the considered risks were prepared. It is recommended to create a favorable operational environment in the field of politics and security, so that the enterprise «Company "Water of Donbas"» could safely and reliably perform its functions of providing residents of Donbas with quality water supply and sanitation services.

Key words: water supply system, sewage system, risk assessment, reliability, safety, the city of Donbas, operational situation, operational potential.

Трякина Алена Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоснабжение, очистка природных вод.

Трякина Альона Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопостачання, очищення природних вод.

Tryakina Alyona – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: water supply, purification of natural water.

УДК 628.33

М. Ю. ГУТАРОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СТОКОВ КАК ПУТЬ РЕШЕНИЯ НЕРАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Аннотация. Современный мир все чаще сталкивается с проблемой нерационального использования питьевой воды. Перед учеными и инженерами стоит задача решения данной проблемы без вреда для окружающей среды. В статье рассмотрены основные факторы дефицита водных ресурсов и как путь решения проблемы водопотребления – использование канализационных стоков. Были приведены общие понятия о «серых» водах, их область применения, оборудование для обработки «серых» вод и современные санитарно-технические приборы с технологией использования «серых» вод, результаты исследования общественного мнения о вторичном использовании «серых» вод. На основании последних публикаций, а также проведенных ранее исследований была выполнена оценка потребности в воде на одного человека при использовании воды из системы холодного водоснабжения с использованием повторной очистки «серых» вод.

Ключевые слова: сточные воды, «серые» и «черные» воды, дефицит воды, повторное использование воды, оборудование для очистки «серых» вод, санитарно-технические приборы с технологией использования «серых» вод, исследование, общественное мнение.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современный мир все чаще сталкивается с проблемой дефицита водных ресурсов, что влечет за собой катастрофические последствия в водопользовании населением. Около 40 % населения в мире страдают от недостатка воды. По состоянию на август 2019 г. около 2,6 миллиардов человек живут в странах с кризисным состоянием потребления и использования водных ресурсов [1]. Самый высокий дефицит воды испытывает на себе Ближний Восток, Австралия, Средиземноморье и Юго-Запад США. Прогноз на 2030 год неутешительный – 700 млн человек могут стать беженцами из-за нехватки воды.

Среди ряда факторов нехватки воды можно выделить основные три. Первый фактор – глобальное изменение климата. Согласно ЮНЕСКО, это приводит к увеличению засух и наводнений, которые оказывают непосредственное влияние на население. Второй фактор – забор воды и ее распределение. С 1961 года по 2014 год уровень забора воды увеличился в 2,5 раза. На потребности домашнего хозяйства уходит 10 % мировой добываемой воды, на орошение земли (ирригация) уходит большая часть воды [2]. Третий фактор – мировые конфликты. Это касается Стран Ближнего Востока.

Решение данной проблемы без вреда для окружающей среды возможно за счет вторичного использования сточных вод. Оно приобрело свое распространение прежде всего за рубежом – в Великобритании, США, Канаде и Странах Ближнего Востока, где ситуация с кризисом воды более напряженная. В странах постсоветского пространства такие системы очистки не имеют большой популярности в основном из-за культуры водопользования и нерационального подхода к использованию воды, заложенного еще с советских времен.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Различают два вида загрязнений сточных вод – «черные» и «серые». «Черные» воды поступают из туалетов (фекальные), а «серые» воды – воды, загрязненные моющим веществом и жиром и не содержащие фекалий. «Серые» поступают из умывальников, душевых кабин, ванн, стиральных

машин и раковин. По степени и типу загрязнения подразделяют воду на более пригодную к рециркуляции (вода из душевой) и на менее пригодную (вода из кухонь) [3]. После очистки «серую» воду можно использовать в качестве технической воды для смыва унитазов, а также для поливки придомовой территории или же проезжей части города. Своим качеством после очистки сточная вода аналогична дождевой.

В среднем потребитель использует около 200...250 литров воды в день на хозяйственно-бытовые нужды (без учета смыва унитаза), что и является «серой» водой. В таблице 1 указан полный ежедневный объем сточных вод от разных санитарно-технических приборов [4].

Таблица 1 – Источники сточных вод и их расход в день

| № | Источники | Тип | Объем воды, л |
|---|---|-------------------|---------------|
| 1 | Унитаз | «Черные» | 20...30 |
| 2 | Ванна | «Серые» | 150 |
| 3 | Душ | «Серые» | 80 |
| 4 | Кухонная раковина | «Серые», «черные» | 20...55 |
| 5 | Стиральная машина (при стирке 1 раз в неделю) | «Серые» | 50 |
| 6 | Умывальник | «Серые» | 4...20 |

Как видно из таблицы, не менее 50 % стоков после очистки может быть вторично использовано. Данный факт требует дальнейших исследований.

В населенных пунктах «серые» воды могут быть использованы на хозяйственно-бытовые и муниципальные нужды, для промышленных предприятий и сельского хозяйства (система орошения).

На хозяйственно-бытовые нужды использование стоков разрешается в том случае, когда обеспечена полная безопасность для окружающей среды и исключен риск для местного населения в санитарно-гигиеническом отношении.

Для муниципальных потребностей использование сточных вод предусматривается для мойки автодорог, тротуаров и мостов; предварительно очищенные воды применяют при поливке участков озеленения, садов, парков и спортивных площадок.

Для сельскохозяйственных угодий очищенные стоки применяют в удаленных районах. Запрещается применять сточную воду, которая полна не совместимым с сельским хозяйством химическим составом (превышение натрия и кальция). Технология очистки сточных вод для сельского хозяйства различается в зависимости от видов культур: для орошения культур, предназначенных для употребления в пищу в сыром виде, вода должна пройти осветление флокуляцией, фильтрацию и дезинфекцию; для орошения садов и пастбищ применяют исключительно осветление флокуляцией и дезинфекцию.

Вторичное использование очищенных стоков возможно и на промпредприятиях, где необходимы большие объемы воды. Следует понимать, что для каждого производства требования к качеству воды разные, поэтому используются разные технологии очистки [5].

Целью работы является исследование использования «серых» вод и возможного снижения водопотребления населением при этом.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ.

Оборудование для очистки «серых» вод. Для очистки «серых» вод наиболее подходящими являются биологическая и механическая очистки. Так как «серые» воды используют в качестве технической воды, то перед ее вторичным применением стоки проходят осветление флокуляцией, фильтрование и дезинфекцию. В «серых» стоках присутствуют микроорганизмы, они не могут быть полностью удалены ни при отстаивании, ни в биофильтрах, поэтому после механической очистки необходимо обеззараживать сточные воды [6, 7].

Процесс очистки «серых» вод представлен на рисунке на примере очистных сооружений AS – Gray WATER, которые обеспечивают предварительную механическую очистку воды, сбор воды, биологическую очистку и фильтрацию, перекачку воды в систему распределения и дополнение системы питьевой водой в случае недостатка «серых» вод [3].

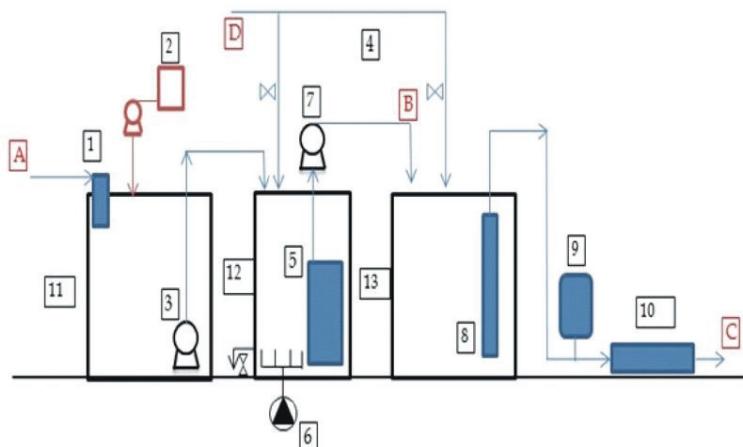


Рисунок – Технологическая схема очистки «серых» вод на очистных сооружениях AS – Gray WATER [3]: 1 – мелкосетчатый фильтр, 2 – дозирование NaOH, 3 – перекачивание «серых» вод в реактор; 4 – подвод питьевой воды; 5 – мембранный модуль; 6 – воздуходувка; 7 – насос для чистой воды, прошедшей через мембрану; 8 – погружной насос ATS; 9 – мембранный напорный резервуар; 10 – УФ-лампа; 11 – усреднительный резервуар для серых стоков; 12 – зона реакции; 13 – резервуар для сбора очищенной воды; А – серые стоки; В – чистая вода, прошедшая через мембрану; С – очищенная вода; D – питьевая вода.

Современные санитарно-технические приборы с технологией использования «серых». При существующем многообразии санитарно-технического оборудования стоит отметить ряд агрегатов, с использованием «серых» вод. Одним из них является гибрид – раковина, расположенная на бачке унитаза. Такое решение предлагает испанская компания Roca. Создатели конструкции, которая имеет название W+W, использовали принцип повторного использования воды путем соединения компактной подвесной раковины с унитазом. Из раковины она проходит через фильтр, который избавляет ее от неприятного запаха и бактерий и оказывается в сливном бачке унитаза, а далее используется для смыва. Такая конструкция позволяет сократить потребление воды на 25 % [8], а также имеет привлекательный дизайнерский вид и экономит пространство.

Еще одним примером ресурсосберегающей конструкции являются стиральные машины WashUP. Экономичность таких машин заключается в том, что вода после полоскания используется на смыв бачка. Особенность конструкции позволяет подвешивать машину прямо над унитазом, что, помимо воды, существенно экономит еще и пространство ванной. В итоге вместо чистой воды на смыв унитаза тратится та, которой никто не будет пользоваться, при этом сама конструкция подключена к водопроводу и в случае необходимости бачок будет заполнен водопроводной водой [8].

Общественное мнение о вторичном использовании «серых» вод. Для повторного применения «серых» вод последнее десятилетие было проведено ряд исследований, которые показали значительный результат признания обществом повторного водопользования. В частности, это касается промышленных объектов, полива придомовых территорий, пожаротушения и мытья автомобилей. В свое время такие опросы были проведены в Канаде, ОАЭ, Словакии, Польше и ряде других стран.

С февраля по июнь 2013 года было проведено исследование в Аль-Айне (ОАЭ). Респонденты были выбраны случайным образом – около 50 % мужчин и 50 % женщин. Были выдвинуты вопросы о повторном использовании «серой» воды для промывки туалета, принятия душа, уборки дома, стирки, мытья посуды и садоводства.

В опросе около 70 % респондентов согласились с тем, что «серую» воду можно повторно использовать в садоводческих целях и 18 % согласились повторно использовать «серую» воду для смыва в туалете. Респондентами были выделены основные проблемы, связанные с повторным использованием «серой» воды – риск распространения заболеваний в результате воздействия микроорганизмов, загрязнение почвы из-за различных загрязнителей в «серых» водах [9].

Похожий опрос был проведен в 2018 году в Подкарпатской области, которая находится в юго-восточной части Польши [10]. Было опрошено 200 респондентов, из которых почти 60 % были женщины. 48 % респондентов считают, что в Польше существует проблема нехватки питьевой воды. Опрошенные предлагают следующие пути по сохранению водных запасов: закрытие крана при чистке зубов (67 %); включение стиральной машины только при полной загрузке (63 %); вместо душа – купание в ванне (57 %); запуск посудомоечной машины только при полной загрузке (39 %).

Большинство респондентов отрицательно относятся к использованию «серой» воды в своих домах (79 %). Самое большое нежелание вызывало использование очищенной «серой» воды для мытья посуды (57 %), уборки (49 %), полива сада (38 %), автомойка (28 %) и смывание туалета (27 %). Основные причины, по которым респонденты не хотели бы использовать систему «серых» вод в их домашнем хозяйстве, являются гигиена (50,5 %) и инвестиционные расходы (14 %).

Полученные результаты показали, что, по всей вероятности, основная причина отрицательных ответов – низкая осведомленность общества о водных ресурсах и возможности частичной замены альтернативными источниками воды. Также существует общественное убеждение, считающее подобные установки убыточными. Это также было подтверждено результатами опроса, где 80 % респондентов указали, что субсидии предоставляют им больший стимул для внедрения этих систем.

На основании проведенного анализа публикаций и проведенных ранее исследований водопотребления при нестабильной подаче воды была выполнена оценка потребности в воде на одного человека (в семье из трех человек) при работе простой системы холодного водоснабжения и системы холодного водоснабжения с использованием повторной очистки «серых» вод по аналогии с таблицей 2.7 [11]. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка потребности в воде на одного человека (в семье из трех человек)

| Процедура | | Потребность в воде на одного человека | | |
|--|--|---|--|---------------------|
| | | л/(сут·чел.) | | Частота потребления |
| | | Простая системы холодного водоснабжения | Система холодного водоснабжения с использованием повторной очистки «серых» вод | |
| Питье | Использование родниковой воды | 2,0 | 2,0 | каждый день |
| | Фильтрование водопроводной воды | 2,0 | 2,0 | |
| Приготовление пищи | Использование родниковой воды | 1,0 | 1,0 | каждый день |
| | Фильтрование водопроводной воды | 5,0 | 5,0 | |
| Мытье посуды | Ручное мытье водопроводной водой | 12,0 | 12,0 | каждый день |
| | Посудомоечная машина водопроводной водой | 7,0 | 7,0 | |
| Стирка | Ручная стирка водопроводной водой | 5,0 | 5,0 | один раз в неделю |
| | Стирка в стиральной машине | 3,0 | 3,0 | |
| Уборка квартиры | Включает: полив цветов, мытье пола, влажная уборка, мытье окон | 1,1 | 1,1 | один раз в неделю |
| Умывание и чистка зубов | Фильтрованной водопроводной водой | 10,0 | 10,0 | каждый день |
| Душ, ванна | Водопроводной водой | 120 | 120,0 | каждый день |
| Сливной бачок | Водопроводной водой | 30,0 | использование только «серых» вод | каждый день |
| Домовые потребности | Мытье подъезда | 0,05 | использование только «серых» вод | 2 раза в месяц |
| | Мытье машины | 3,0 | использование только «серых» вод | |
| Для домашних животных | Питье, приготовление пищи | 0,3 | 0,3 | каждый день |
| | Купание | 1,5 | 1,5 | |
| ИТОГО: | | 200,0 | 167,0 без учета «серых» вод | |
| Сливы, нерациональные расходы, внутридомовые утечки (25 %) | | 50,0 | 17,0...25,0 (10...15 %) | |
| ВСЕГО: | | 250,0 | 184,0...192,0 | |

Если предположить, что весь расход воды для сливного бачка, мытье подъезда, мытье машины, частично на уборку квартиры (мытье пола, окон) будет перекрыт «серыми» водами от мытья посуды, стирки, гигиенических процедур, то возможно сокращение водопотребления минимум на 33 л в сутки. При этом возможно снижение нерационального расходования воды и сливов. Данные расходы воды будут поступать в систему для повторного использования и даже при минимальных сливах, нерациональных расходах и внутридомовых утечках в 10...15 % сокращение водопотребления составит 58...66 л в сутки на человека или в среднем сократится на 25 %.

ВЫВОДЫ

1. Снижение расхода питьевой воды на хозяйственные нужды возможно за счет повторного использования «серых» вод после мытья посуды, стирки, гигиенических процедур на смыв унитаза, поливку придомовой территории.
2. Вторичное использование воды экологически безопасно для окружающей среды.
3. Применение современных санитарно-технических приборов с использованием «серых» вод позволит не только снизить питьевое водопотребление, но и создаст свободное пространство в санузлах и ванных комнатах. Недостатком данных установок является цена. Например, выше упомянутая модель W+W стоит примерно 4 000 долларов. Возможно, со временем при более широком использовании данного вида оборудования будут появляться более дешевые аналоги.
4. Сельское хозяйство и промышленные предприятия активно применяют повторное использование «серых» вод, а вот с городскими сточными водами ситуация неоднозначная. Технология применения «серых» вод проводится в небольших масштабах и находится еще на экспериментальном уровне. Сложности возникают как с правилами утилизации, отсутствием законодательной поддержки, так и психологическим барьером восприятия общества повторного использования «серых» вод.
5. Основной проблемой в использовании «серых» вод является неинформированность населения об установках очистки, санитарно-технических приборах с повторным использованием сточных вод, качестве повторно используемой воды, экономических аспектах в снижении общего водопотребления.
6. Проведенный анализ последних исследований и публикаций показывает, что за счет повторного использования воды возможно снижение водопотребления населением на 25 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пабло, У. Дефицит воды может привести к массовой миграции и войнам [Электронный ресурс] / У. Пабло // BBS News. – Режим доступа : <https://www.bbc.com/russian/features-49322390>.
2. Воронин, Н. В индийском Ченнаи с населением 9 млн закончилась вода. Что там происходит? [Электронный ресурс] / Н. Воронин // BBS News. – Режим доступа : <https://www.bbc.com/russian/news-48719889>.
3. Энергия серых вод [Электронный ресурс] // ASIO. – [2011–2020]. – Режим доступа : <https://wwwasio.cz/ru/energiya-serykh-vod>.
4. Как сточные воды использовать повторно? [Электронный ресурс] // Агрокультура. – [2008–2010]. – Режим доступа : <http://agracultura.org/practical/kak-stochnye-vody-ispolzovat-povtorno/>.
5. Вторичное использование сточных вод [Электронный ресурс] / Пер. с итал. С. Н. Булекова // RCI. – 2006. – № 2. – Режим доступа : https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3290.
6. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] : учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
7. Муллина, Э. Р. Химические аспекты процесса хлорирования воды [Электронный ресурс] / Э. Р. Муллина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12-4. – С. 609–613. – Режим доступа : <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10890>.
8. Устройства «два в одном» [Электронный ресурс] // DA-VODA. – [2017]. – Режим доступа : <http://www.davoda.com/gadzhety/ustrojstva-dva-v-odnom/>.
9. Quantitative assessment of residential water end uses and greywater generation in the City of Al Ain [Electronic resource] / Rezaul K. Chowdhury, Walid Elshorbagy, Mwafag Ghanma, Assem El-Ashkar // Water Science & Technology Water Supply. – 2015. – 15(1):114. – P. 114–123. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/272399037_Quantitative_assessment_of_residential_water_end_uses_and_greywater_generation_in_the_City_of_Al_Ain.
10. Novak, C. A. Designing Rainwater Harvesting Systems: Integrating Rainwater into Building Systems [Electronic resource] / Celeste Allen Novak, Eddie Van Giesen, Kathy M. DeBusk. – Canada : John Wiley & Sons. – 2014. – 312 p. – Access mode : <https://www.studocu.com/row/document/orta-dogu-teknik-ueniversitesi/waste-water/lecture-notes/designing-rainwater-harvesting-systems-integrating-rainwater-into-building-systems-by-celeste-allen-novak-edward-van-giesen-and-kathy-m-debusk/5731953/view>.

11. Гутарова, М. Ю. Нормирование водопотребления населением городов в условиях нестабильной подачи воды [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.23.04 / Гутарова Марина Юрьевна. – Макеевка, 2017. – 183 с.

Получена 04.09.2020

М. Ю. ГУТАРОВА
ВИКОРИСТАННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТОКІВ ЯК ШЛЯХ ВИРІШЕННЯ
НЕРАЦІОНАЛЬНОГО ВОДОСПОЖИВАННЯ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Сучасний світ все частіше стикається з проблемою нерационального використання питної води. Перед вченими та інженерами постає завдання вирішення даної проблеми без шкоди для навколошнього середовища. У статті розглянуто основні чинники дефіциту водних ресурсів і як шлях вирішення проблеми водоспоживання – використання каналізаційних стоків. Були наведені загальні поняття про «сірі» води, їх сфера застосування, обладнання для обробки «сірих» вод і сучасні санітарно-технічні прилади з технологією використання «сірих» вод, результати дослідження громадської думки про вторинне використання «сірих» вод. На підставі останніх публікацій, а також проведених раніше досліджень була виконана оцінка потреби у воді на одну людину при використанні води із системи холодного водопостачання з використанням повторного очищення «сірих» вод.

Ключові слова: стічні води, «сірі» та «чорні» води, дефіцит води, повторне використання води, обладнання для очищення «сірих» вод, санітарно-технічні прилади з технологією використання «сірих» вод, дослідження, громадська думка.

MARINA GUTAROVA
USE OF SEWAGE AS A WAY TO SOLVE THE IRRATIONAL WATER
CONSUMPTION OF
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The modern world is increasingly confronted with the problem of unsustainable use of drinking water. Scientists and engineers face the challenge of solving this problem without harming the environment. The article discusses the main factors of water scarcity and how to solve the problem of water consumption – the use of sewage. General concepts about «grey» waters, their area of use, equipment for the treatment of «grey» water and modern sanitary devices with the technology of using «grey» water, the results of a public opinion study on the secondary use of «grey» waters were given. Based on recent publications, as well as previous studies, an assessment of the need for water per person when using water from the cold water system using the re-cleaning of «grey» water was made.

Key words: waste water, «grey» and «black» water, water scarcity, water reuse, equipment for the treatment of «grey» water, sanitary appliances with technology for the use of «grey» water, research, public opinion.

Гутарова Марина Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: нормирование водопотребления населением городов.

Гутарова Марина Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: нормування водоспоживання населенням міст.

Gutarova Marina – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: regulation of water consumption by urban population.

УДК 504.75.05

М. М. РИПНАЯ^а, А. И. СЕРДЮК^а, Ю. П. ВАРХАЛЁВ^б

^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б Донецкий государственный научно-исследовательский и проектный институт цветных металлов

**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОТЫ В
БОРФТОРИСТОВОДОРОДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ НА ЕГО
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ УТИЛЬНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Аннотация. Исследовано влияние составов борфтористоводородных электролитов на электрохимическую переработку отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов. Увеличение концентрации кислоты в предлагаемом составе борфтористоводородного электролита уменьшает выделение удельных выбросов фторидов в 1,2 раза и свинца в 2,1 раза на тонну выделенного свинца по сравнению с ранее известным электролитом за счет увеличения скорости процесса переработки СКА в 2,1 раза. Показано, что, изменяя концентрацию кислоты со 100 до 180 г/л, можно снизить общий уровень токсичности выбросов вредных веществ в окружающую среду при электрохимической утилизации отработанных батарей в 1,4 раза. Результаты проведенного расчета рассеивания вредных веществ, выделяющихся с поверхности рассматриваемых борфтористоводородных электролитов, не превышают действующие нормативы, поэтому с целью повышения производственной мощности предприятия применение этих электролитов на практике целесообразно.

Ключевые слова: свинцово-кислотные аккумуляторы, утилизация, борфтористоводородный электролит, скорость, выбросы, фториды.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Переработка свинцово-кислотных аккумуляторов (СКА) – актуальная проблема современного мира. В результате промышленной деятельности предприятий и заводов вырабатывается большое количество вредных веществ. Но их вредные свойства даже при малом количестве могут нанести серьезный вред здоровью людей и экологии в целом. Этот факт вынуждает разрабатывать новые качественные методы и составы электролитов для переработки промышленных отходов, в том числе и для электрохимической переработки отработанных СКА, которые относятся к опасным отходам, что приводит к серьезному нарушению экологического баланса в окружающей среде.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время в мире доминируют пирометаллургические методы переработки СКА. Однако на фоне ужесточения требований к качеству окружающей среды эти методы перестают быть приоритетными. Преимуществом электрохимических технологий переработки является то, что процессы ведутся при умеренных температурах и атмосферном давлении электролизом, на конечной стадии получается металл достаточно высокой степени чистоты, электролиз удачно сочетается с другими технологическими операциями (низкотемпературными гидро- и пирометаллургическими) [1]. К недостаткам следует отнести низкие скорости процесса переработки утильных СКА и выделение при этом вредных выбросов в атмосферный воздух.

Выбор электролита для электрохимического извлечения свинца из растворов труден: наиболее дешевые кислоты – соляная, серная и азотная для этого непригодны из-за малой растворимости солей свинца или плохой структуры катодного осадка.

© М. М. Рипная, А. И. Сердюк, Ю. П. Вархалёв, 2020

Бете в 1901 г. предложил, а в 1910 г. внедрил в производство кремнефтористый электролит, состоящий из синца кремнийфтористого ($PbSiF_6$) и кремнийфтористоводородной кислоты (H_2SiF_6). В 1957 г. в Италии применили для той же цели сравнительно дорогую амидосульфоновую кислоту ($(NH_2SO_3OH)_2$). Первый электролит токсичен и разрушает многие материалы; однако пока он преимущественно применяется при электролизе свинца, общая доля которого в мировом производстве металла составляет около 15 % [2].

В работе [3] исследуется переработка СКА в малеиновом электролите. Этот электролит содержит более экологически чистые компоненты, но имеет очень низкую скорость процесса переработки.

Существуют также борфтористоводородные электролиты. Они отличаются высокой стабильностью, менее чувствительны к загрязнению посторонними металлами. С поверхности этого электролита в несколько раз меньше выбрасываются фториды и свинец по сравнению с кремнийфтористоводородным [4].

В статье [5] изучалась зависимость интенсивности выделения газа и вредных газообразных продуктов от приложенной плотности тока 163, 498 и 906 A/m². Оптимальным с учетом скорости процесса и выделения выбросов авторы считают борфтористоводородный электролит следующего состава, г/л: $Pb(BF_4)_2$ – 30, HBF_4 – 180, H_3BO_3 – 30, ПАВ – 1. Максимальная рабочая плотность тока составляла 400 A/m².

Целью работы является уменьшение уровня токсичности выбросов вредных веществ в окружающую среду при электрохимической утилизации отработанных СКА путем изменения концентрации кислоты, а также повышение скорости переработки автомобильных батарей в борфтористоводородных электролитах.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Определение фторидов проводилось согласно методическим указаниям на фотометрическое определение фтористого водорода в воздухе [6]. Фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе проводилось согласно методическим указаниям [7]. В работе определяли допустимую плотность тока на стандартной ячейке Хулла объемом 250 мл. В состав электролита № 1 входили, г/л: HBF_4 = 100, $Pb(BF_4)_2$ = 30, H_3BO_3 -30, ПАВ-1. В состав электролита № 2 входили, г/л: HBF_4 = 180, $Pb(BF_4)_2$ = 30, H_3BO_3 -30, ПАВ – 1.

Катодом служила свинцовая пластина толщиной 0,2 см размером 4×8 см, анодом – фрагменты десульфатированных аккумуляторных решеток того же размера, обработанных перекисью водорода для восстановления диоксида свинца в оксид свинца. Выход по току рассчитывали исходя из измеренных в прямоугольной ячейке количества отложенного свинца на катоде, при определенных силе тока, напряжении и времени электролиза. Методики определения скорости выделения свинца на катоде, затрат энергии на выделение свинца, допустимой плотности тока описаны в работе [8]. Опыты проводились с постоянным перемешиванием на лабораторной магнитной мешалке при температуре 40 °C.

Ранее [9] нами были выведены уравнения зависимости удельных выбросов фторидов и свинца с поверхности электролита при постоянной концентрации соли свинца и переменной концентрацией кислоты, с одной стороны, и постоянной концентрации кислоты и переменной концентрацией соли свинца, с другой стороны, от его состава при 40 °C ($V_{y\vartheta}$, г/(ч·м²):

$$\sum V_{y\vartheta F} = V_{y\vartheta F1} + V_{y\vartheta F2} = 5,2 \cdot 10^{-2} \cdot C_k + 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot C_{Pb(BF_4)_2}, \quad (1)$$

$$V_{y\vartheta Pb} = 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot C_{Pb(BF_4)_2}, \quad (2)$$

где C_k – концентрация борфтористоводородной кислоты в электролите (по фтору), г/л;
 $C_{Pb(BF_4)_2}$ – концентрация соли свинца в электролите (по свинцу), г/л.

Данные уравнения справедливы при любых плотностях тока, не превышающих предельно допустимых.

В работе проводились исследования влияния концентрации кислоты в растворе (C_{HBF_4} = 100...180 г/л) на рабочую катодную плотность тока ($D_{kраб}$), скорость осаждения свинца на катоде (U , кг/(м²·час), выход свинца по току, затраты энергии на выделение свинца на катоде и выбросы фторидов с единицы поверхности электролита при постоянной концентрации соли свинца равной 30 г/л при 40 °C (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние концентрации борфтористоводородной кислоты в растворе (C_{HBF_4} , г/л) на экологические и электрохимические параметры извлечения свинца из электролита при постоянной концентрации соли свинца ($C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$) равной 30 г/л

| C_{HBF_4} г/л | 100 | 130 | 140 | 150 | 180 |
|---|------|------|------|------|------|
| Δ_k , А/м ² | 300 | 440 | 495 | 545 | 640 |
| Скорость осаждения, кг/(м ² ·час) | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 1,8 | 2,3 |
| Выход свинца по току, % | 97,2 | 97,3 | 97,4 | 97,5 | 97,7 |
| Затраты энергии, КВт·час/т | 140 | 184 | 210 | 228 | 254 |
| Выбросы фторидов с единицы поверхности электролита, г/(ч·м ²) | 7,0 | 8,3 | 9,6 | 10,8 | 12,5 |
| Удельные выбросы фторидов с единицы поверхности электролита, приходящиеся на 1 кг выделенного свинца, г·м ² (катода)/кг·м ² (поверхности электролита)·ч | 6,2 | 5,8 | 5,7 | 5,9 | 5,5 |

Удельные выбросы фторидов с единицы поверхности электролита, приходящиеся на 1 кг выделенного свинца рассчитывали как частное от деления величины выбросов фторидов с единицы поверхности электролита на скорость осаждения свинца.

С увеличением концентрации кислоты в растворе, происходит рост выбросов фторидов с поверхности электролита (таблица 1). Но при этом также увеличивается скорость осаждения свинца на катоде в 2,1 раза. Результаты, полученные по количеству удельных выбросов фторидов с единицы поверхности электролита, приходящиеся на 1 кг выделенного свинца, показывают их уменьшение на 11 % при увеличении концентрации соли свинца с 30 до 100 г/л.

По полученным данным была построена зависимость рабочей катодной плотности тока ($\Delta_{\text{раб}}$) и скорости осаждения свинца на катоде (U) от концентрации борфтористоводородной кислоты в растворе (C_{HBF_4}) при постоянной концентрации соли свинца равной 30 г/л (рис. 1).

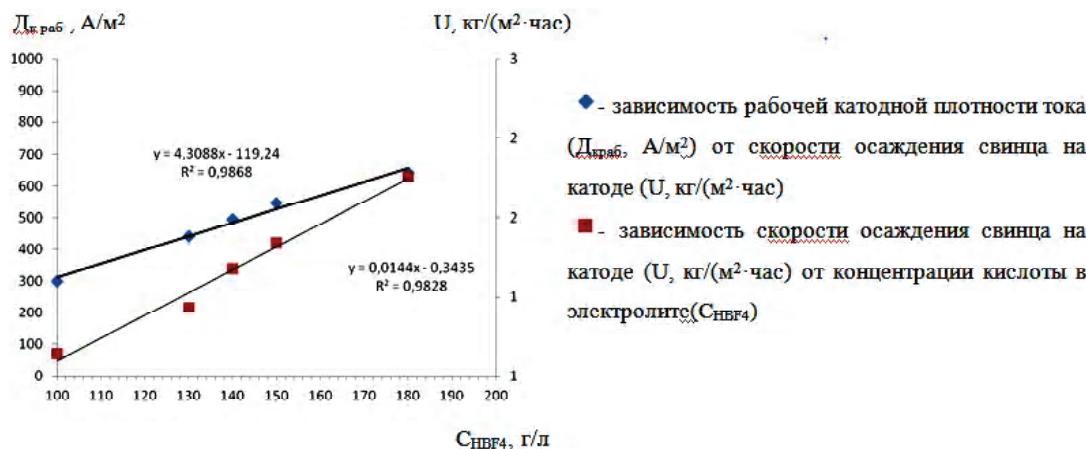


Рисунок 1 – Зависимости рабочей катодной плотности тока ($\Delta_{\text{раб}}$) и скорости осаждения свинца на катоде (U) от концентрации кислоты в электролите (C_{HBF_4}) при 40 °С.

Из полученных результатов (рисунок 1) видно, что рост скорости осаждения свинца на катоде несколько более сильный, чем рост рабочей катодной плотности тока с увеличением концентрации кислоты в электролите. В этих условиях также увеличиваются затраты энергии на выделение свинца на катоде в 1,8 раза (таблица 1). По-видимому, это связано с увеличением вклада химического растворения пластин по сравнению с электрохимическим, а также увеличением затрат энергии на нагрев электролита с ростом рабочей катодной плотности тока.

Так как в настоящее время в ДНР автомобильные аккумуляторы не перерабатываются, а всего лишь складируются, то проведена оценка воздействия проектируемого потенциально опасного объекта на окружающую среду. В качестве примера были выбраны технологические параметры металлургического производства ООО «АКОМ-Инвест» (г. Тольятти, Россия). Производительность предприятия составляет 20 тыс. тонн аккумуляторного лома в год. Место расположения промплощадки предприятия выбрано в Петровском районе г. Донецка на достаточно удаленном расстоянии от жилого сектора вблизи ретранслятора Донецкого телекомплекса.

Процесс растворения свинцовых пластин аккумулятора протекает в течение 9,3 суток при плотности катодного тока 300 A/m^2 и 4,3 суток при плотности катодного тока 640 A/m^2 . Вес чистого свинца и его соединений (в пересчете на свинец) в исследуемом аккумуляторе составляет 15,1 кг. В работе использовали электрохимические ванны, внутренние размеры которых составляли, мм: $750 \times 1300 \times 800$, вмещающие 14 шт. АБК. Общая площадь гальванических ванн составит $98,5 \text{ m}^2$ (при плотности катодного тока 300 A/m^2). При плотности тока, равной 640 A/m^2 , количество электрохимических ванн уменьшается в 2,1 раза за счет более высокой скорости переработки. Поэтому площадь гальванических ванн равна $46,9 \text{ m}^2$.

Расчет рассеивания загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах предприятия в атмосферном воздухе, производился с помощью программы УПРЗА «Эколог». Размер санитарно-защитной зоны для предприятий по переработке аккумуляторов – 1 000 метров [10]. Для выявления вклада предприятия в загрязнение приземного слоя атмосферы, в соответствии с рекомендациями нормативных документов, фоновые концентрации фторидов и свинца принимаются равными нулю, что соответствует действительности.

Наибольшая допустимая концентрация каждого вредного вещества в расчётной точке приземного слоя атмосферы определяется по формуле $C \leq \text{ПДК}$.

Таблица 2 – Характеристика параметров выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при электрохимической переработке отработанных аккумуляторов.

| Наименование объекта | Источник выделений | Максимальная высота, м | Параметры газовоздушной смеси | | | Вредные вещества | Количество выбросов | |
|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|---------------------|-------|
| | | | Скорость, м/с | Объём, м ³ | Температура, °C | | г/с | т/год |
| Производство по переработке СКА | Борфтористоводородный электролит № 1 | 20 | 2 | 0,39 | 37 | Фториды | 0,128 | 4,04 |
| | Борфтористоводородный электролит № 2 | | | | | Свинец | 0,0012 | 0,037 |
| | | | | | | Фториды | 0,103 | 3,25 |
| | | | | | | Свинец | 0,0006 | 0,019 |

Расчёт рассеивания вредных веществ, содержащихся в выбросах, проведен на основе приведенных параметров выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (таблица 2).

Расчет рассеивания фторидов и свинца был проведен для условий переработки СКА.

Результаты расчета рассеивания фторидов и свинца с поверхности исследуемых электролитов представлены на рисунках 2, 3.

Согласно [11] в случае, когда значения максимальных приземных концентраций на границе нормативной СЗЗ и на границе селитебной зоны не превышают $0,8 \text{ ПДК}$, можно считать, что СЗЗ обеспечивает достаточное воздействие выбросов рассматриваемого загрязняющего вещества предприятием на качество атмосферного воздуха. Результаты проведенного расчета рассеивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета рассеивания

| Наименование электролита | Наименование загрязняющего вещества | Концентрация на границе СЗЗ, дПДК | Концентрация на границе жилой зоны, дПДК |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Борфтористо-водородный № 1 | Фтора газообразные соединения | 0,16 | 0,29 |
| | Свинец и его соединения | 0,029 | 0,054 |
| Борфтористо-водородный № 2 | Фтора газообразные соединения | 0,13 | 0,23 |
| | Свинец и его соединения | 0,015 | 0,027 |

Учитывая количество выбросов, можно сделать качественное заключение о том, что электролит № 2 менее токсичный по сравнению с электролитом № 1.

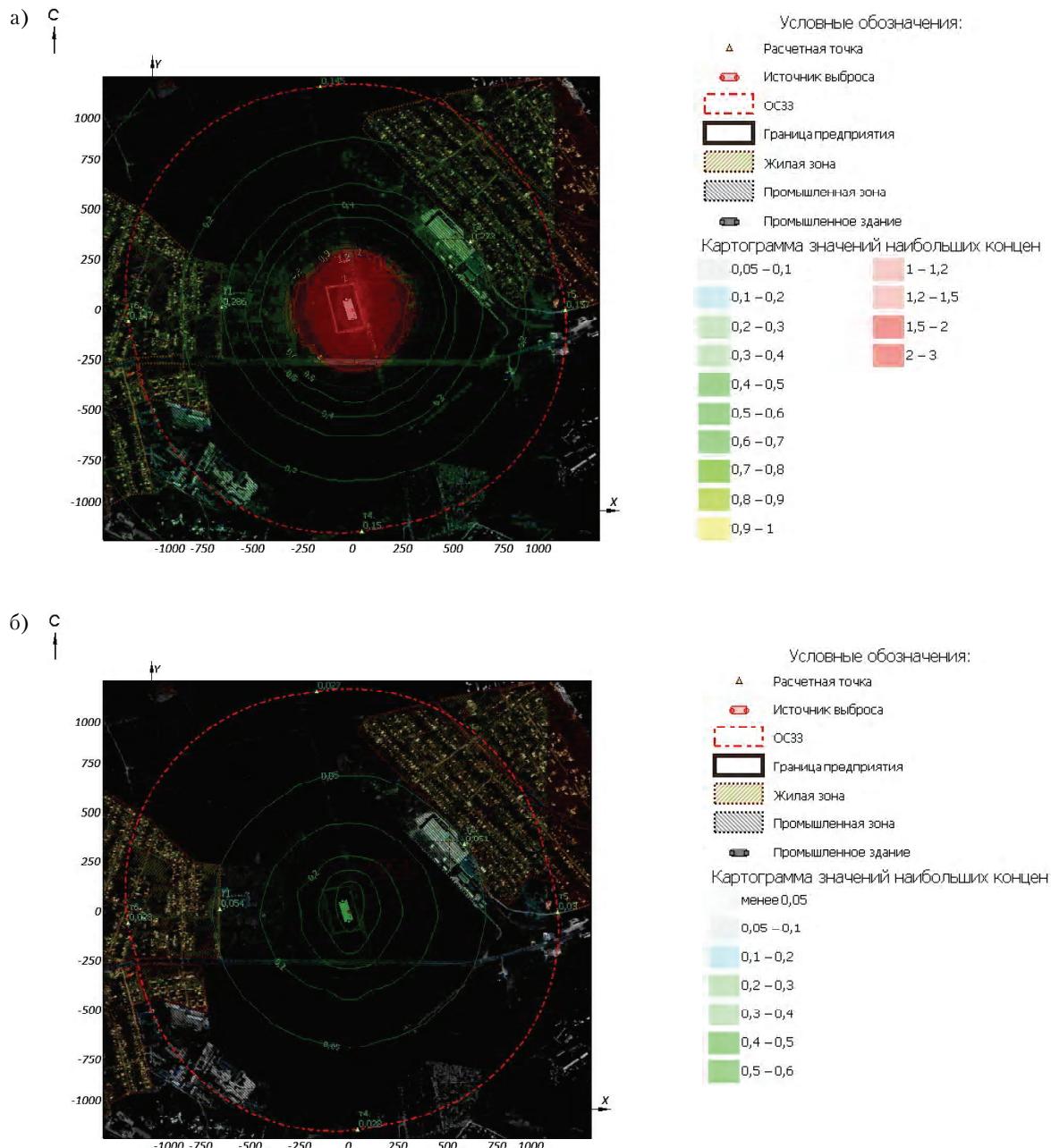


Рисунок 2 – Карта рассеивания соединений фторидов (а) и свинца (б), выделяющихся с поверхности борфтористоводородного электролита № 1 (масштаб 1:20 000) при плотности тока 300 А/м².

Уровень загрязнения окружающей среды оценивают, используя в качестве критериев нормативы качества, которые установлены для компонентов окружающей среды.

Для оценки степени загрязнения воздушного бассейна используется санитарно-гигиенический показатель – суммарный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Он представляет собой относительный показатель, величина которого зависит от концентрации вещества в анализируемой точке, его ПДК, класса опасности и количества веществ загрязняющих атмосферу. ИЗА рассчитывается по формуле:

$$ИЗА = \sum_{i=1}^n (C_i / ПДК_i)^{\alpha_i}, \quad (3)$$

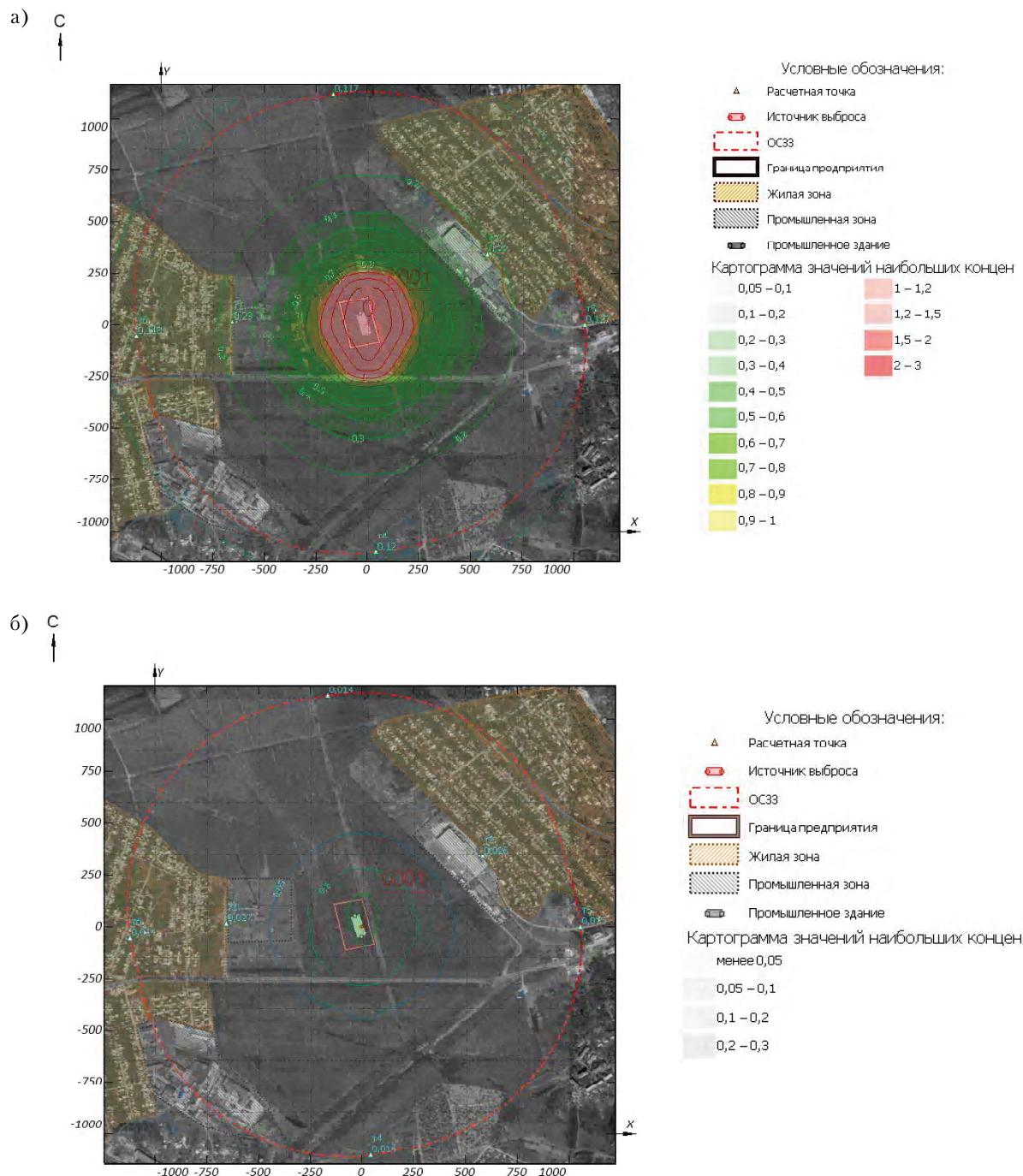


Рисунок 3 – Кarta рассеивания соединений фторидов (а) и свинца (б), выделяющихся с поверхности борфториеводородного электролита № 2 (масштаб 1:20 000) при плотности тока 640 А/м².

где C_i – среднегодовая концентрация i -го вещества, мг/м³;
 ПДК_i – его среднесуточная предельнодопустимая концентрация, мг/м³;
 α_i – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха i -м веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы. Значения α_i равны 0,85; 1,0; 1,3; 1,5 соответственно для 4, 3, 2 и 1 классов опасности вещества.

Рассчитаем ИЗА для фторидов и свинца, выделяющихся с поверхности электролитов № 1 и № 2. Исходя из результатов, приведенных в таблице 4, токсичность выбросов с увеличением количества кислоты в электролите уменьшается в 1,4 раза (0,37/0,27) за счет увеличения скорости переработки

Таблица 4 – Результаты расчета ИЗА

| Электролит | Наименование загрязняющего вещества | Среднегодовая концентрация i -го вещества, C_i , мг/м ³ | Среднесуточная предельно-допустимая концентрация, ПДК _{i} , мг/м ³ | Безразмерный коэффициент, α_i | Класс опасности вещества | ИЗА |
|------------|-------------------------------------|--|---|--------------------------------------|--------------------------|------|
| № 1 | Фтора газообразные соединения | 0,0022 | 0,005 | 1,3 | 2 | 0,37 |
| | Свинец и его соединения | $2,4 \cdot 10^{-5}$ | 0,0003 | 1,5 | 1 | |
| № 2 | Фтора газообразные соединения | 0,0018 | 0,005 | 1,3 | 2 | 0,27 |
| | Свинец и его соединения | $1,2 \cdot 10^{-5}$ | 0,0003 | 1,5 | 1 | |

аккумуляторов в 2,1 раза. Согласно установленным категориям качества воздуха в зависимости от уровня загрязнения [12], степень загрязнения атмосферы фторидами и свинцом – низкая.

ВЫВОДЫ

Увеличение концентрации кислоты в предлагаемом составе борфтористоводородного электролита уменьшает выделение удельных выбросов фторидов в 1,2 раза и свинца в 2,1 раза на тонну выделенного свинца по сравнению с ранее известным электролитом за счет увеличения скорости процесса переработки СКА в 2,1 раза. Электролит с повышенной концентрацией кислоты дает меньшие концентрации токсичных веществ на границе СЗЗ промышленного предприятия (1 000 м) в 1,4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Seetharaman, S. Treatise on Process Metallurgy [Текст] : Volume 3: Industrial Processes / S. Seetharaman. – Elsevier : [с. н.], 2014. – 1751 р.
2. Anson Gardner Betts. Lead Refining by Electrolysis [Текст] / Anson Gardner Betts. – [S. l.] : Read Books, 2008. – 424 р.
3. Назарова, М. В. Проблемы использования экологически чистого электролита для переработки автомобильных аккумуляторов [Текст] / М. В. Назарова, А. И. Сердюк, С. П. Зырянов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2018. – Том. 1. – С. 82–85.
4. Ялалова, М. М. Прогнозирование загрязнения атмосферы фторидами и свинцом при электрохимических процессах переработки аккумуляторов [Текст] / М. М. Ялалова, А. И. Сердюк // Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов : материалы 4-я Международной научно-технической интернет-конференции (23–27 декабря 2019 г., Тула) / под общей ред. И. А. Басовой. – Тула : Изд-во : ТулГУ, 2019. – С. 71–74.
5. Назарова, В. В. Исследование интенсивности выделения газа на электродах и выделения фторидов при переработке свинцово-кислотных аккумуляторов с целью определения безопасных параметров процесса [Текст] / В. В. Назарова, А. В. Дмитрович // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2011. – Вип. 2011-5(91) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 45–51.
6. МУК 4.1.1342-03. Измерение массовой концентрации гидрофторида (фтористого водорода) в воздухе рабочей зоны фотометрическим методом [Текст]. – Введ. 2003-05-16 ; Л. Г. Макеева, Г. В. Муравьева, Е. М. Малинина [и др.]. – М. : Минздрав России, 2003. – 11 с.
7. МУ 2013-79. Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе [Текст]. – Введ. 1979-06-0. – М. : Минздрав России, 1979. – 25 с.
8. Ялалова, М. М. Разработка путей очистки промывочных вод гальванического производства от соединений свинца [Текст] / М. М. Ялалова, С. А. Солдатов, А. И. Сердюк // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 14(66). – С. 113–120.
9. Ялалова, М. М. Промышленная безопасность при эксплуатации борфтористоводородного электролита для утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов [Текст] / М. М. Ялалова, А. И. Сердюк // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 1. – С. 70–77.
10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов [Текст]. – Введ. 2008-03-01. – М. : Минздрав России, 2007. – 31 с.

11. Рекомендации по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий [Текст] / Под ред. Р. В. Горбанева. – Москва : Издательство Российского экологического федерального информационного агентства, 1998. – 82 с.
12. Темеров, Т. В. Комплексные показатели качества (загрязнения) атмосферного воздуха [Текст] / Т. В. Темеров, А. А. Голубничий // Гуманитарные научные исследования. – 2016. – № 8. – С. 58–62.

Получена 07.09.2020

М. М. РІПНА ^a, О. І. СЕРДЮК ^a, Ю. П. ВАРХАЛЬОВ ^b
ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ КИСЛОТИ В БОРФТОРИСТОВОДНЕВОМУ
ЕЛЕКТРОЛІТІ НА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ
ПРИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНІЙ ПЕРЕРОБЦІ УТИЛЬНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ
АКУМУЛЯТОРІВ

^a ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^b Донецький державний науково-дослідний і проектний інститут кольорових металів

Анотація. Досліджено вплив складів борфтористоводневих електролітів на електрохімічну переробку відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторів. Збільшення концентрації кислоти в пропонованому складі борфтористоводневого електроліту зменшує виділення питомих викидів фторидів в 1,2 раза і свинцю в 2,1 раза на тонну виділеного свинцю в порівнянні з раніше відомим електролітом за рахунок збільшення швидкості процесу переробки СКА в 2,1 раза. Показано, що, змінюючи концентрацію кислоти зі 100 до 180 г/л, можна знизити загальний рівень токсичності викидів шкідливих речовин у навколошне середовище при електрохімічній утилізації використаних елементів живлення в 1,4 раза. Результати проведеного розрахунку розсіювання шкідливих речовин, що виділяються з поверхні розглянутих борфтористоводневих електролітів, не перевищують діючі нормативи, тому з метою підвищення виробничої потужності підприємства застосування цих електролітів на практиці доцільно.

Ключові слова: свинцево-кислотні акумулятори, утилізація, борфтористоводневий електроліт, швидкість, викиди, фториди.

MARGARITA RIPNA ^a, ALEXANDER SERDYUK ^a, YURIY VARKHALEV ^b
INFLUENCE OF ACID CONCENTRATION IN HYDROFLUORIC ACID
ELECTROLYTE ON ITS ENVIRONMENTAL AND OPERATIONAL
PARAMETERS DURING ELECTROCHEMICAL PROCESSING OF WASTE CAR
BATTERIES

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Donetsk State Research and Design Institute of Non-Ferrous Metals

Abstract. The influence of the compositions of hydrofluoride electrolytes on the electrochemical processing of used lead-acid batteries has been studied. An increase in the acid concentration in the proposed composition of the hydrofluoride electrolyte reduces the release of specific emissions of fluorides by 1.2 times and lead by 2.1 times per ton of released lead as compared to the previously known electrolyte by increasing the rate of the SCA processing process by 2.1 times. It is shown that by changing the acid concentration from 100 to 180 g / l, it is possible to reduce the overall toxicity level of emissions of harmful substances into the environment during the electrochemical utilization of used batteries by 1.4 times. The results of the calculation of the dispersion of harmful substances released from the surface of the considered hydrofluoride electrolytes do not exceed the current standards, therefore, in order to increase the production capacity of the enterprise, the use of these electrolytes in practice is advisable.

Key words: lead acid batteries, disposal, hydrofluoride electrolyte, speed, emissions, fluorides.

Рипная Маргарита Маратовна – асистент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и утилизация промышленных отходов.

Сердюк Александр Иванович – доктор химических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка физико-химических основ переработки промышленных отходов.

Вархалёв Юрий Петрович – кандидат физико-математических наук; директор Донецкого государственного научно-исследовательского и проектного института цветных металлов. Научные интересы: вторичная переработка отходов цветных металлов.

Ріпна Маргарита Маратовна – асистент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка та утилізація промислових відходів.

Сердюк Олександр Іванович – доктор хімічних наук, професор кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка фізико-хімічних основ переробки промислових відходів.

Вархальов Юрій Петрович – кандидат фізико-математичних наук, директор Донецького державного науково-дослідного і проектного інституту кольорових металів. Наукові інтереси: вторинна переробка відходів кольорових металів.

Ripna Margarita – Assistant, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing and recycling of industrial wastes.

Serdyuk Alexander – D. Sc. (Chem. Sc.), Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests development of physico-chemical basis for processing industrial waste.

Varkhalev Yuriy – Ph. D. (Physical and Mathematical Sciences), director of the Donetsk State Research and Design Institute of Non-Ferrous Metals. Scientific interests: recycling of non-ferrous metal waste.

УДК 622.232

Е. Л. ГОЛОВАТЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ КИСЛЫХ ШАХТНЫХ ВОД

Аннотация. Во многих странах и регионах дренаж кислых шахтных вод приводит к серьезному загрязнению окружающей среды. Источники шахтной воды очень разнообразны, и поэтому не всегда возможно однозначно определить «типичную шахтную воду» для отдельных месторождений. Даже в одной геологической структуре можно выделить несравнимые гидрохимические водные смеси. Типы и, следовательно, химический состав шахтных вод в пределах одной горнодобывающей компании часто различаются во времени и пространстве. Он также меняется вместе с продвижением выигрышных операций вглубь, он изменяется в зависимости от количества и состава природных источников шахтных вод в данный период добычи и т. д. В действующих шахтах химизм шахтных вод изменяется вместе с перемешиванием различных типов шахтных вод, загрязненных различными веществами, продуктами выветривания, продуктами бактериального и биологического разложения и т. д. Кроме того, прекращение горных работ сильно изменяет режим шахтных вод. В таком случае отключается один из источников – хозяйственно-технологическая вода, и шахтная вода приобретает характер воды старых выработок. В статье описаны источники механизма образования кислых сточных вод горных предприятий, приведены характеристики нескольких методов их обработки. Проанализированы некоторые широко используемые технологии и принципы очистки кислых сточных вод, выделены основные методы обработки: процесс нейтрализации, метод флотации осаждения сульфидов, метод вытеснения, метод экстракции, биохимический метод.

Ключевые слова: кислые сточные воды шахт, механизм образования, принцип очистки, обработка.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основными направлениями в охране водных ресурсов от загрязнения сточными водами угольной промышленности являются: сокращение водопритоков в горные выработки; очистка сточных вод; снижение загрязненности вод в подземных горных выработках. Шахтные воды формируются за счет подземных и поверхностных вод, проникающих в горные выработки. Стекая по выработанному пространству и горным выработкам, они загрязняются бактериями, взвешенными, в том числе радиоактивными, и растворимыми химическими веществами. Качественный состав шахтных вод разнообразен и существенно изменяется по угольным бассейнам, месторождениям и районам. Их сброс в наземную гидрографическую сеть вызывает заиление, засоление и закисление водоемов и водотоков, нарушая тем самым экологическое равновесие в угольных бассейнах. Постоянный переход горных работ на более глубокие горизонты и усложнение при этом гидрогеологических условий приводят к дальнейшему увеличению объемов и загрязненности попутно откачиваемых вод различными веществами, а также истощению подземных водоносных горизонтов, в том числе насыщенных чистой питьевой водой.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

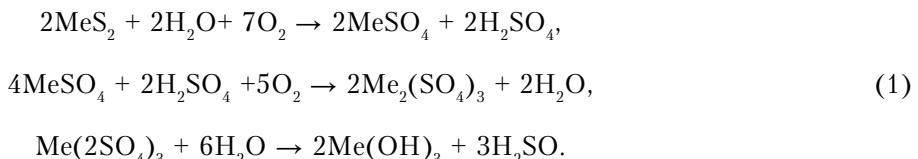
Серьезной проблемой в отрасли является очистка кислых шахтных вод, характеризующихся присутствием в них высоких концентраций растворенных солей железа и алюминия, а также других тяжелых металлов в виде микрэлементов. Объем этих вод составляет 60 млн м³ в год, что выдвигает задачу обезвреживания кислых стоков в число первоочередных природоохранных мероприятий.

Устранение отрицательного влияния на окружающую природную среду кислых шахтных вод осуществляется в основном по двум направлениям:

- разработка и осуществление мероприятий по сокращению объема шахтных вод;
- разработка и внедрение эффективных экономичных и отвечающих современным требованиям охраны природы технологий их очистки.

При разработке технологии очистки кислых шахтных вод, прежде всего, должно быть обеспечено удаление из воды загрязняющих компонентов, обусловливающих ее кислотность, в виде твердой фазы (осадка). При этом очищенная вода должна соответствовать требованиям для сброса в водоем или использования для технических нужд предприятий, а образующийся осадок должен быть утилизирован.

Механизм образования [2] сточных вод представлен в виде уравнений:



Исходя из этих положений, технология очистки кислых шахтных вод состоит из следующих основных процессов: нейтрализация воды с целью перевода в твердую фазу основных загрязняющих компонентов; осветление воды, уплотнение и обезвоживание образующегося осадка; обработка осадка с целью его подготовки для утилизации.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Процесс нейтрализации

Кислые сточные воды горнодобывающей промышленности представляют собой сернокислотные водные растворы, общее значение pH для сточных вод 2 ~ 6 [2]. Низкое содержание серной кислоты, очевидно, не имеет ценности для повторного использования, поэтому основным методом обработки является кислотная очистка сточных вод. Основной принцип заключается в том, чтобы ввести нейтрализатор в кислые сточные воды, заставляя ионы тяжелых металлов и ионы гидроксида реагировать, вызывая осаждение, затрудняющее растворение гидроксида в воде и получить сточную воду, соответствующую нормам сброса. При применении этого метода для очистки сточных вод необходимо знать наилучшее значение pH для всех видов тяжелых металлов из осаждения хлористого водорода и концентрацию тяжелых металлов в растворе после удаления. Значения pH полного осаждения различных видов тяжелых металлов могут сильно различаться, но при этом возможно выполнять восстановление всех видов металлов. Для амфотерного металла, такого как цинк, свинец, хром, олово, алюминий и т. д., очень высокий pH может образовывать комплекс и вызывать явление растворения осаждения. Например, когда значение pH равно девяти, Zn^{2+} присутствует почти во всех осадках. Но когда значение pH больше 11, он производит растворимый ион комплексообразования Zn(OH)_4^{2-} или ион цинка (ZnO_2^{2-}). Следовательно, необходимо строго контролировать и поддерживать оптимальное значение pH.

Технологический процесс обезвреживания. Метод обезвреживания заключается в использовании реакции осаждения и кристаллизации. Первый представляет собой простой процесс нейтрализации, второй заключается в добавлении в систему мелких кристаллов (возвратный ил), чтобы способствовать образованию хорошей осаждающейся кристаллизации. Процесс обработки осадка изображен на рисунке 1.

а) состоит в том, чтобы ввести сточные воды с тяжелыми металлами в реакционный резервуар, ввести осадитель, перемешать смесь для реакции, добавить необходимый флокулянт для образования большей флокуляции, затем ввести сточные воды с тяжелыми металлами в отстойник для разделения твердой и жидкой фаз;

б) этот метод циркуляционной обработки заключается не только в добавлении осадителя, но и в возврате умеренного количества осадка, а затем в смешивании и после концентрирования в отстойнике часть концентрата возвращается в реакционный резервуар. Осадочный ил, полученный данным способом, отличается крупными зернами, быстрым осаждением, низким содержанием влаги и хорошим водным действием;

в) обработка подщелачиванием – устанавливается слот для обработки подщелачиванием осадка перед реакционным резервуаром, вводится временная доза щелочного раствора в слоте для очистки, а образующийся раствор является своего рода подщелачивающим агентом, он реагирует на сточные

воды тяжелых металлов в реакционном резервуаре, а затем происходит разделение твердой и жидкой фаз в пруду-отстойнике, возврат части осадка ила, обогащенного осадком.

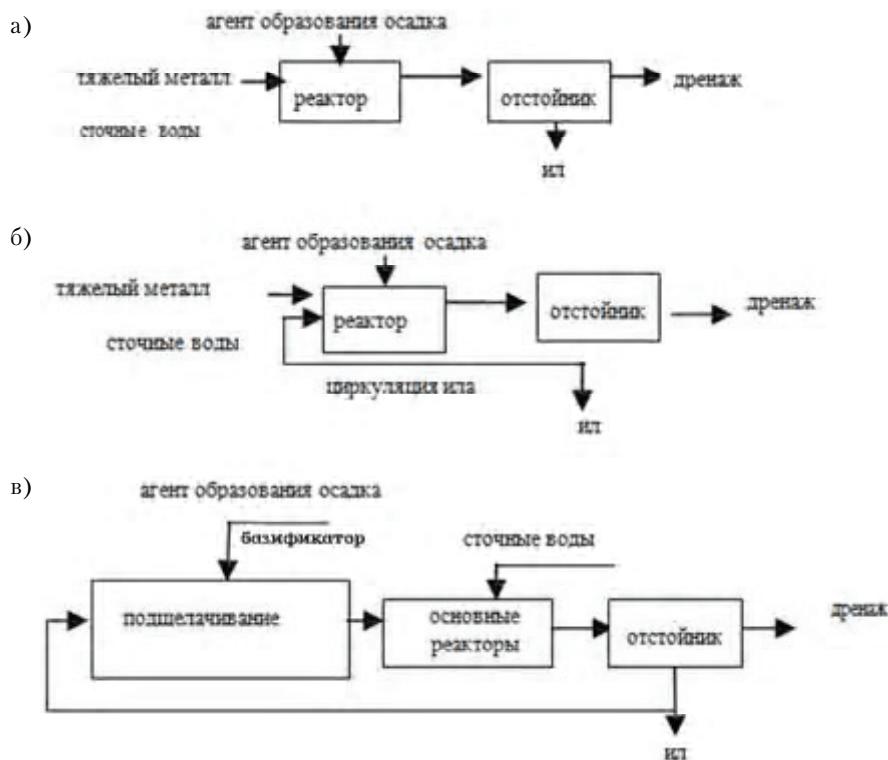


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса нейтрализации: а) в добавлении флокулянта для образования крупненных флокул; б) метод циркуляционной обработки; в) обработка подщелачиванием.

Нейтрализацию можно проводить различным путем: смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами. В процессе нейтрализации могут образовываться осадки. Для нейтрализации кислых вод могут быть использованы: $NaOH$, KOH , Na_2CO_3 , NH_4OH , $CaCO_3$, $MgCO_3$, ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$). Наиболее доступным реагентом является гидроксид кальция (известковое молоко) с содержанием 5...10 % активной извести $Ca(OH)_2$. Иногда для нейтрализации применяют отходы производства – шлаки металлургических производств. Реагенты выбирают в зависимости от состава и концентрации кислой сточной воды. Различают три вида кислото-содержащих сточных вод: 1) воды, содержащие слабые кислоты (H_2CO_3 , CH_3COOH); 2) воды, содержащие сильные кислоты (HCl , HNO_3); 3) воды, содержащие серную и сернистую кислоты. При нейтрализации известковым молоком сточных вод, содержащих серную кислоту, в осадок выпадает гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, что вызывает отложение его на стенках трубопроводов.

Нейтрализатором, используемым в промышленности, является известняк, известь, едкая щелочь, сода, промышленная пыль, закись железа и т. д. Поскольку известь имеет преимущества широкого источника и простоты эксплуатации, она становится обычным нейтрализатором. По сравнению с известняком шлам нейтрализации известняка имеет небольшой размер, небольшую занимаемую площадь, низкое содержание влаги, легко поддается обезвоживанию, а также может образовывать высокие концентрации шлама, но скорость реакции нейтрализации идет медленнее [3], [9].

Процесс осаждения сульфидов

Сульфиды большинства металлов являются труднорастворимыми соединениями. Выщелачивание и образование сульфидов происходит при определенном значении pH, и очередность их растворения или осаждения зависит от растворимости данного сульфида.

По сравнению с процессом нейтрализации преимущества осаждения сульфидов заключаются в следующем: растворимость сульфида тяжелых металлов ниже, чем у его хлористого водорода, и

значение pH составляет 7 ~ 9, поэтому очищенные сточные воды, как правило, не нуждаются в нейтрализации. Недостатком осаждения сульфидов является: образование большого количества трудно обезвоживаемого шлама. Причиной осаждения сульфидов в воде являются остатки сероводородной кислоты в газе, образующие вторичное загрязнение. Чтобы предотвратить проблемы вторичного загрязнения, необходимо исследование улучшенного осаждения сульфидов, а именно ввода ионов сульфида и других ионов тяжелых металлов (средняя концентрация ионов сульфидов тяжелых металлов выше, чем загрязняющие вещества тяжелых металлов, необходимые для устранения баланса).

Поскольку добавленный сульфид тяжелого металла растворяется с большей вероятностью, чем сульфиды тяжелых металлов, поэтому исходный ион тяжелого металла отделяется быстрее, чем добавленный ион тяжелого металла, и в то же время решает проблему образования вредного газообразного сероводорода и сульфида ионные остатки.

Метод использования сульфооксида заключается в использовании осажденного металла сульфида железа с добавлением пульпового осадителя со значением pH 8–9, чтобы не образовывался газообразный сероводород. При значении pH 6,5 ~ 7,5 метод осаждения сульфида железа может эффективно удалять мышьяк в воде. Однако, если осадок сульфидных отложений не изолирован под водой или не исключены окислительные условия, он может снова образовывать серную кислоту, понижая pH, а также растворять тяжелые металлы и снова создавать экологические проблемы.

Технологический процесс осаждения сульфидов

Например, сточные воды медных рудников, качественный состав которых представлен в таблице 1 в основном поступают с месторождений.

Таблица 1 – Качественный состав неочищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>SO</i> ₄ ²⁻ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| концентрация | 720 | 23 | 50 | 2 148.5 |

Примечание: значение pH 2,6.

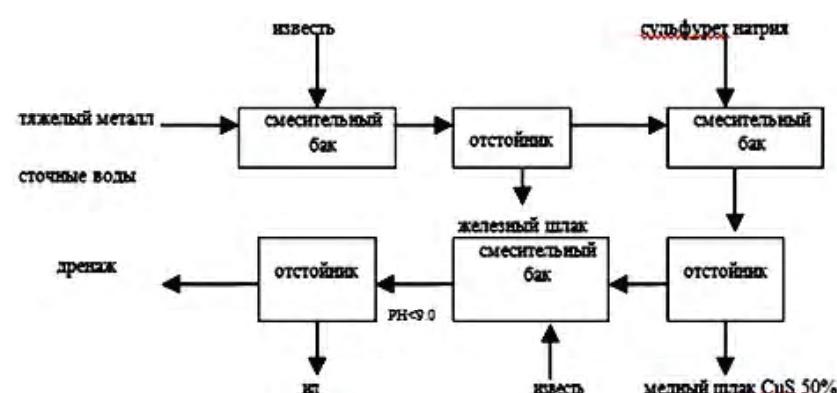


Рисунок 2 – Технологический процесс осаждения сульфидов.

затем необходимо добавить раствор в сточные воды, чтобы осадить медь в виде CuS , такой медный шлак высокого качества можно в дальнейшем переработать, после добавить известь для улучшения значения рН, чтобы кислотность осаждения меди в переливах снизилась до нормативов сброса [4]. Индекс качества очищенных сточных вод показывает, что очистка сточных вод прошла успешно, а качественный состав очищенных сточных вод представлен в таблице 2.

Из таблицы 1 видно, что концентрация Fe , Zn , Cu , SO_4^{2-} – выше нормативных значений, поэтому процесс осаждения сульфидов является лучшим методом очистки таких сточных вод (рисунок 2). Прежде необходимо добавить известь, довести pH до 4,0 для осаждения Fe^{3+} , поскольку Fe^{3+} в сточных водах является оптимальным, нет необходимости изменять процесс окисления для преобразования Fe^{2+} в Fe^3 .

Затем необходимо добавить

Таблица 2 – Качественный состав очищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>SO</i> ₄ ²⁻ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| концентрация | 6.00 | ост. | ост. | 809.3 |

Примечание: значение pH 6,5.

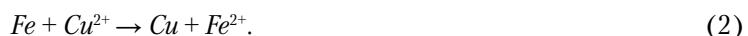
Метод вытеснения

В водном растворе электроотрицательный металл может заменить электроположительный металл, поэтому для достижения цели отделения металла от воды – это использование метода вытеснения [9]. Поскольку железо более электроотрицательно, чем медь, поэтому при вытеснении иона меди можно получить губчатую медь более высокого качества. Но метод вытеснения не может снизить кислотность сточных вод, он должен сочетаться с нейтрализацией [8] для сброса или повторного использования сточных вод. Сточные воды медных рудников в основном поступают с месторождений, качественный состав которых представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Качественный состав неочищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>As</i> | <i>Cd</i> | <i>Pb</i> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| концентрация | 806 | 46 | 173 | 0,07 | 0,75 | 0,24 |

Примечание: значение pH 2,5.



Из таблицы 3 видно, что концентрация *Cu* выше нормативного значения, в этом случае этот осадок следует переработать. Технологический процесс метода вытеснения показан на рисунке 3.

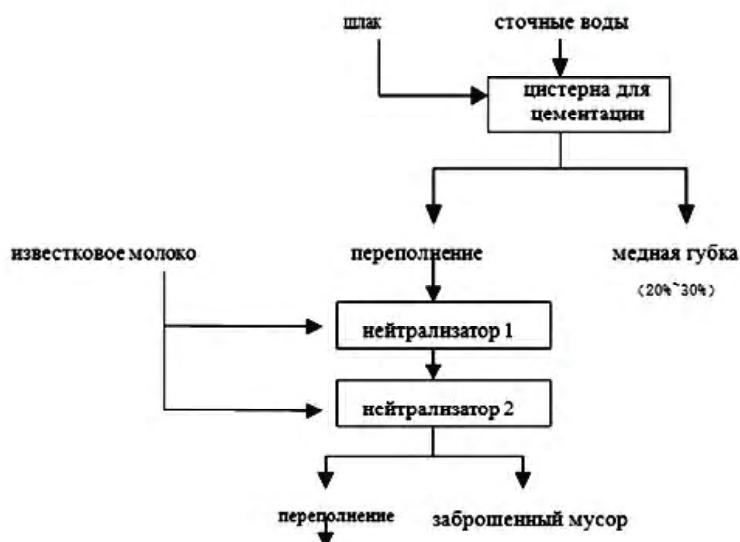


Рисунок 3 – Технологический процесс метода вытеснения металлов.

Чтобы улучшить эффект осаждения железа и снизить кислотность, после использования железа вместо меди необходимо использовать метод последовательной нейтрализации с добавлением флокулянта для повышения эффективности и снижения кислотности сточных вод. Содержание меди в осадке (губке), образующейся при очистке сточных вод, составляет от 20 до 30 %, ее можно использовать в качестве сырья, а воду можно напрямую сбрасывать. После использования метода вытеснения и нейтрализации качественный состав сточных вод соответствует нормативам сброса. Качественный состав сточных вод представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Качественный состав очищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>Pb</i> | <i>SO₄²⁻</i> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|
| концентрация | 3 312 | 3,0 | 223 | 0,09 | 8 341 |

Примечание: значение pH 8,2.

Метод флотации осаждения сульфидов

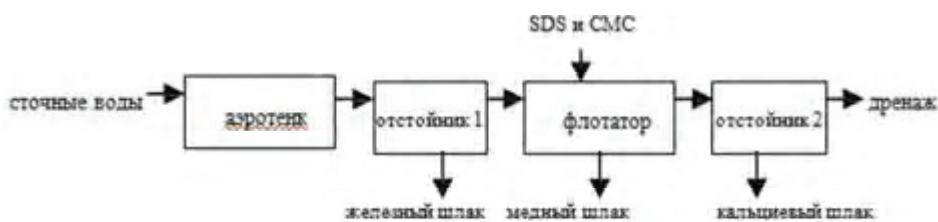
Метод флотации осаждения сульфидов [7] заключается в переводе ионов металлов в пероксид водорода, а затем флотационного осаждения по одному из извлеченных ценных металлов, то есть добавления флотационного реагента, чтобы сначала ингибиовать какой-то металл и выбрать другой вид металла, а затем реактивировать и выбрать другие ценные металлы. Достоинства этого метода – высокая эффективность, широкая адаптируемость, использование меньшего количества земли и меньшее количество выходящего грязевого шлака, поэтому он становится довольно распространенным методом очистки сточных вод. Кислые сточные воды поступают с горнодобывающих предприятий, их качественный состав представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Качественный состав неочищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>Pb</i> | <i>SO₄²⁻</i> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|
| концентрация | 3 312 | 3,0 | 223 | 0,09 | 8 341 |

Примечание: значение pH 2,0.

Из таблицы 5 видно, что концентрации *Fe*, *SO₄²⁻* и *Cu* превышает норматив, их следует утилизировать. В данном случае метод флотации с осаждением является лучшим методом очистки сточных вод, и этот процесс показан на рисунке 4.

**Рисунок 4** – Технологический процесс метода флотации осаждения сульфидов

Во-первых, используем аэрацию воздухом для преобразования *Fe²⁺* в *Fe³⁺*. Затем контролируем значение pH для осаждения *Fe³⁺* в виде железного шлака (гидроксида трехвалентного железа). Чтобы получить медь, содержащую более 50 % медного шлака, объединим SDS и СМС, затем осаждаем и отделяем медный шлак с *CaSO₄*. Условия процесса: значение pH 3,4 ~ 4,0 на одной секции; значение pH около 8,0 во второй секции. После процесса флотации с осаждением качественный состав сточных вод будет соответствовать нормам сброса. Качественный состав воды представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Качественный состав очищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>Pb</i> | <i>SO₄²⁻</i> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|
| концентрация | 0,13 | trace | 0,03 | 0,03 | 3 154 |

Примечание: значение pH 8,0.

Метод экстракции

Метод экстракции заключается в использовании принципа закона распределения с органическим растворителем, который не может растворяться в воде с некоторыми загрязняющими веществами, для отделения и удаления загрязняющих веществ. Достоинствами этого метода являются простота устройства, простота в эксплуатации, высокое содержание тяжелых металлов в экстрагенте, получение металла после рекстракции электролизом. Недостаток метода состоит в том, что при высоких требованиях к содержанию металла – эффективность обработки низкая, а стоимость высокая. Качественный состав кислых сточных вод, поступающих с угольных предприятий, представлен в таблице 7.

Из таблицы 7 видно, что концентрация *Fe* и *Cu* выше нормативных значений. Из таблицы 7 видно, что концентрация *Fe* и *Cu* выше нормативных значений, значение pH низкое. В этом случае лучший метод очистки сточных вод – это метод экстракции (рисунок 5).

Таблица 7 – Качество неочищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>Pb</i> | <i>As</i> | <i>Cd</i> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| концентрация | 26 858 | 133 | 6 294 | 0,97 | 33 | 7 |

Примечание: значение pH 1,5.

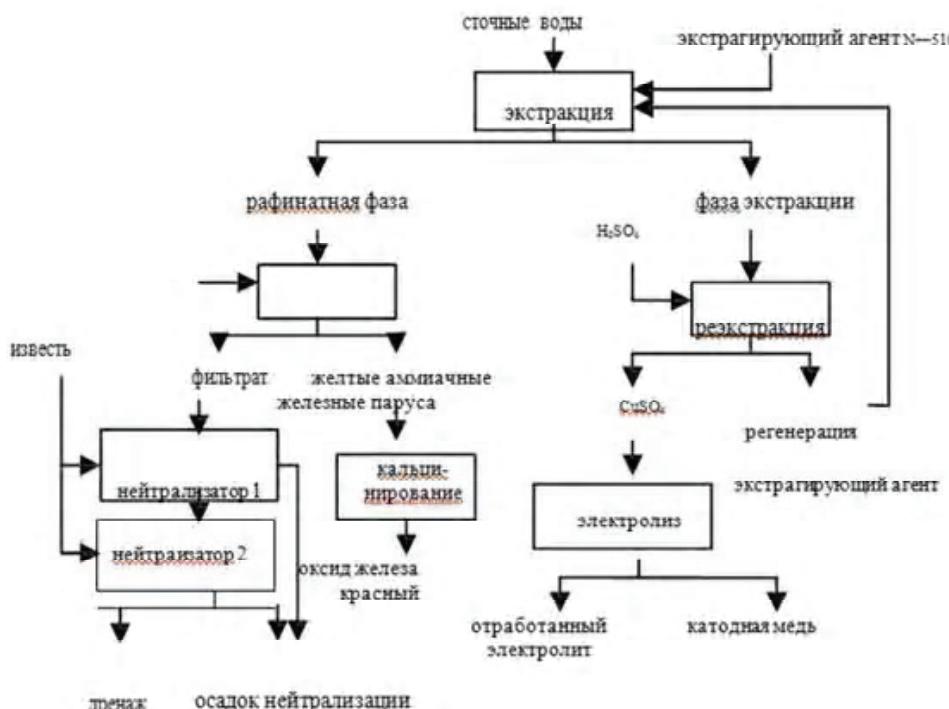


Рисунок 5 – Технологический процесс экстракционного электролитического метода.

После экстракции, реэкстракции и электролитического процесса концентрация вторичной меди в воде составляет 99,90 %, и ее можно использовать повторно, добавив аммиачную воду в рафинатную фазу, чтобы получить железный шлак, который можно использовать как красный оксид железа для покрытия после обжига. Значение pH железного фильтрата низкое, двукратная добавка извести улучшает значение pH, чтобы сточные воды соответствовали нормативам сбросов.

После экстракции качественный состав сточных вод соответствует нормативным требованиям (таблица 8).

Таблица 8 – Качество очищенных сточных вод (мг/л)

| вещество | <i>Fe</i> | <i>Zn</i> | <i>Cu</i> | <i>Pb</i> | <i>As</i> | <i>Cd</i> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| концентрация | след | 0,47 | 0,02 | след | след | 0,08 |

Примечание: значение pH 8,5.

Биохимический метод

Биохимический способ очистки основан на использовании специальных бактерий, которые в ходе своей жизнедеятельности расщепляют сложные органические соединения на более простые элементы – воду, углекислый газ и минеральный осадок. В очистных сооружениях, где применяется способ биохимической очистки, присутствуют огромные колонии бактерий, участвующие в переработке стоков. При этом в этих сооружениях создаются благоприятные условия для жизнедеятельности

микроорганизмов, что позволяет значительно ускорить процессы очищения воды в сооружении в сравнении с естественным очищением в природе.

По способу питания бактерии делятся на две большие группы: автотрофы и гетеротрофы. К автотрофам, не нуждающимся в веществах, произведенных другими организмами, относятся фотосинтетики (например, пурпурные бактерии и сине-зелёные водоросли) и хемосинтетики (железобактерии, серобактерии, азотные бактерии), к гетеротрофам – микроорганизмы, использующие в качестве источника энергии химические соединения, содержащие углерод. Этим они отличаются от автотрофных организмов, ведь гетеротрофы не могут существовать без внешнего источника питания [10].

В настоящее время наиболее изученными бактериями являются железо-кислородные бактерии и сульфатредуцирующие бактерии, железобактерии широко применяются на практике. Железобактерии – бактерии, способные окислять двухвалентное железо (Fe^{2+}) до трёхвалентного (Fe^{3+}) и использовать освобождающуюся при этом энергию на усвоение углерода из углекислого газа или карбонатов.

ВЫВОДЫ

1. Анализ отечественных и зарубежных материалов показывает, что по-прежнему при очистке кислых сточных вод предпочтение отдается химическому методу – нейтрализации. В качестве нейтрализующих реагентов в мировой практике традиционными являются известь и известняк в сочетании с известью. Однако при сильно загрязненной кислой воде и соответственно большом расходе нейтрализующего реагента в очищенной воде получается избыточное содержание сульфата кальция, что со временем может привести к кристаллизации и выпадению гипса в осадок.

2. Для осветления нейтрализованной шахтной воды несомненный практический интерес представляет метод флотации. Преимущества флотационного метода по сравнению с традиционными гравитационными методами осветления воды: высокая скорость осветления воды и концентрация твердой фазы в осадке, а также лучшие показатели по обезвоживанию пенного продукта. Флотационное извлечение загрязняющих компонентов из шахтных вод осуществляется в двух направлениях: комплексное извлечение осадка в пенный продукт с получением очищенной воды и селективное извлечение загрязняющих компонентов.

3. Экстракционный метод широко применяется для очистки сточных вод от органических примесей. Использование метода экстракции экономически целесообразно при значительных концентрациях извлекаемых веществ или их высокой товарной ценности, а также при обработке высокотоксичных сточных вод, когда не приемлемы либо не осуществимы другие известные методы. При экстракции происходит извлечение из сточных вод растворенных в ней веществ с переходом их в другую, не смешивающуюся с водой, жидкость – экстрагент.

5. Биохимический метод является новой технологией в последние годы, он имеет следующие преимущества: низкая стоимость обработки и отсутствие вторичного загрязнения, но он зависит от того, насколько микроорганизмы устойчивы к кислотам и тяжелым металлам и уязвимы для окружающей среды, поэтому применимый способ обработки ограничен.

6. Поэтому важно выбрать и определить соответствующие методы очистки для различной природы кислых сточных вод горнодобывающей промышленности, при необходимости следует объединить два или более методов для технической интеграции, решить проблему загрязнения кислыми сточными водами водных объектов, также достичь цели обращения с отходами, полностью вернуть ценные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матлак, Е. С. Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях [Текст] / Е. С. Матлак, В. Б. Малеев. – К. : «Техника», 1991. – 136 с.
2. Гребенкин, С. С. Физико-химические основы технологии осветления и обеззараживания шахтных вод [Текст] : монография / С. С. Гребенкин, В. К. Костенко, Е. С. Матлак ; под общ. ред. В. К. Костенко. – Донецк : «ВИК», 2009. – 438 с.
3. Гавришин, А. И. Некоторые важные закономерности химического состава шахтных вод [Текст] / А. И. Гавришин // Фундаментальные исследования. Геолого-минералогические науки. – 2014. – № 11. – С. 465–470.
4. Evaluation of the performance of a new freeze desalination technology [Текст] / T. Mtombeni, J. P. Maree, C. M. Zvinowanda [et al.] // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2013. – Volume 10, issue 3. – P. 545–550.

5. Eutectic Freeze Crystallization. Towards achieving zero liquid discharge in water treatment [Текст] / Danny Harmsen, Arslan Ahmad, Dragos Petrutiu [et al.] // AWE International, Water treatment. – December 2016/January 2017. – Р. 13–21.
6. Высоцкий, С. П. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации : монография [Текст] / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько. – Донецк : «Каштан», 2014. – 316 с.
7. Гулько, С. Е. Опыт и перспективы использования шахтной воды / С. Е. Гулько, И. И. Гомаль // Уголь Украины. – 2013. – № 6. – С. 30–34.
8. Высоцкий, С. П. Использование слабокислотных катионитов в технологиях очистки воды [Текст] / С. П. Высоцкий, Е. В. Поддубная // Химия и технология воды. – 2002. – Том 24, № 2. – С. 167–174.
9. Monitoring the Environmental Impact of Mining in Remote Locations through Remotely Sensed Data [Текст] / D. Paull, G. Banks, C. Ballard [et al.] // Geocarto International. – 2006. – № 1. – Р. 33–42.
10. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды [Текст] : в 2 ч., ч. 1 / Л. А. Кульский, И. Т. Гороновский, А. М. Когановский, М. А. Шевченко. – Киев : Наукова думка, 1980. – 1206 с.

Получена 11.09.2020

К. Л. ГОЛОВАТЕНКО

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ КИСЛИХ ШАХТНИХ ВОД
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»**

Анотація. У багатьох країнах і регіонах дренаж кислих шахтних вод призводить до серйозного забруднення навколишнього середовища. Джерела шахтної води дуже різноманітні, і тому не завжди можливо однозначно визначити «типову шахтну воду» для окремих родовищ. Навіть в одній геологічній структурі можна виділити непорівнянні гідрохімічні водні розчини. Типи і, отже, хімічний склад шахтних вод в межах однієї гірничодобувної компанії часто різняться в часі і просторі. Він також змінюється разом з просуванням вигравішних операцій вглиб, він змінюється залежно від кількості і складу природних джерел шахтних вод на даний період видобутку тощо. У діючих шахтах хімізм шахтних вод змінюється разом з перемішуванням різних типів шахтних вод, забруднених різними речовинами, продуктами вивітрювання, продуктами бактеріального та біологічного розкладання тощо. Крім того, припинення гірничих робіт сильно змінює режим шахтних вод. У такому випадку відключається одне з джерел – господарсько-технологічна вода, і шахтна вода набуває характеру води старих виробок. У статті описані джерело і механізм утворення кислих стічних вод гірничих підприємств, наведені характеристики декількох методів їх обробки. Проаналізовано деякі широко використовувані технології і принципи очищення кислих стічних вод, виділені основні методи обробки: метод флотації осадження сульфідів, метод витіснення, метод екстракції, метод комбінованої обробки і біохімічний метод.

Ключові слова: кислі стічні води шахт, механізм утворення, принцип очищення, обробка.

EKATERINA GOLOVATENKO

RESEARCH OF ACID MINE WATER TREATMENT TECHNOLOGY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In many countries and regions, acid mine water drainage leads to serious environmental pollution. Mine water sources are very diverse, and therefore it is not always possible to unambiguously define «typical mine water» for individual deposits. Even in one geological structure, incomparable hydrochemical water mixtures can be distinguished. The types and therefore the chemical composition of mine waters within the same mining company often differ in time and space. It also changes along with the advancement of winning operations in depth, it changes depending on the amount and composition of natural sources of mine water during a given period of production, etc. In operating mines, the chemistry of mine water changes along with the mixing of different types of mine water contaminated with various substances, products of weathering, products of bacterial and biological decomposition, etc. In addition, the cessation of mining operations greatly changes the regime of mine waters. In this case, one of the sources is turned off – industrial and technological water, and the mine water takes on the character of water from old workings. The article describes the source and mechanism of formation of acidic wastewater from mining enterprises, provides characteristics of several methods of their treatment. Some widely used technologies and principles of acid wastewater treatment are analyzed, and the main treatment methods are highlighted: flotation method of sulfide precipitation, displacement method, extraction method, combined treatment method and biochemical electrode method.

Key words: acidic mine waste water, formation mechanism, treatment principle, treatment.

Головатенко Екатерина Леонидовна – ассистент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод.

Головатенко Катерина Леонідівна – асистент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення стічних вод.

Golovatenko Ekaterina – Assistant, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sewage treatment.

УДК 504.064.45; 67.08

А. А. ШЕЙХ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В ГРАНИЦАХ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ**

Аннотация. В работе установлено, что применение строительных отходов наиболее эффективно следует производить на месте демонтажных работ, реализуя процесс посредством технологии, включающей их сортировку, измельчение, подготовку, приготовление и использование. Предложена схема обращения со строительными отходами на строительной площадке и показана привносимая дополнительная нагрузка на атмосферный воздух, в результате реализуемой деятельности. На основании календарного графика выполнения строительных работ, с учетом экологической безопасности, определена стадия, на которой необходимо выполнять рециклинг отходов с последующим включением в процесс возведения нового здания. Определена оптимальная фракция использования строительных отходов в качестве вторичных материальных ресурсов. Предложен методический подход к определению общего экономического и экологического эффекта при переработке строительных отходов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, строительство, загрязнение окружающей среды, отходы строительства, этапы переработки, вторичное сырье, эколого-экономический эффект.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время в мире наблюдается тенденция активного возведения жилых зданий с каждым годом увеличивающейся этажности, и как следствие, расширения вместимости городов. Поскольку чаще всего возведению нового объекта предшествует демонтаж существующего морально или физически устаревшего жилого объекта, то на его месте образуется огромное количество крупнотоннажных отходов. В настоящее время на территории ДНР и РФ подвергается переработке только лишь 20 % отходов строительства и демонтажа зданий [1]. Остальные отходы складируются на полигонах, что является не только расточительным расходованием невозобновляемых материальных ресурсов, но и загрязнением ими компонентов природной среды – атмосферного воздуха, водных объектов и почвенного покрова. Для решения сложившейся проблемы необходим поиск наиболее целесообразных направлений использования отходов с учетом экологической безопасности, а также получение экономической выгоды при вовлечении образовавшихся отходов в технологический процесс возведения зданий.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Проведенный анализ данных [1, 2] показал, что: в законодательной базе ДНР нет четкой регламентации системы переработки отходов с последующим их использованием; в регионе отсутствует четкое понимание необходимости внедрения рециклинга отходов строительства и сноса. В работе [3] проанализированы 20 проектов возведения жилых зданий различной этажности: от 3 до 26 этажей; установлено, что при строительстве зданий наибольшее количество выбросов загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферный воздух при работе спецтехники и выполнении земляных работ на нулевом цикле возведения зданий. В работе [4] установлены основные факторы, влияющие на величину воздействия строительного процесса на атмосферный воздух; изучено изменение величины эмиссии загрязняющих веществ с учетом календарного графика выполнения строительных работ.

© А. А. Шейх, 2020

ЦЕЛЬ

Обоснование целесообразности использования отходов строительства и демонтажа зданий непосредственно на месте их образования с учетом получения экологического и экономического эффектов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Строительные отходы, образующиеся в процессе демонтажа зданий, по своей природе являются ценным вторичным материальным ресурсом, который возможно вовлекать в технологический процесс нового строительства. Реализация данного вопроса позволит решить эколого-экономические проблемы, связанные с образованием и складированием огромных объемов крупнотоннажных отходов, возникших на территории нашего региона. Переработка строительных отходов для нашего региона является малоизученным новым направлением, поскольку наблюдается отсутствие организаций, занимающихся непосредственно рециклированием отходов строительства и сноса зданий. Поскольку система правового регулирования ориентирована только лишь на управление обращения с отходами демонтажа и сноса зданий как одним из видов загрязнения окружающей среды, что исключает их переработку. Подготовка к использованию строительных отходов в качестве вторичного ресурса, вторичного материала-заполнителя может быть реализована двумя способами, представленными на рисунке 1.

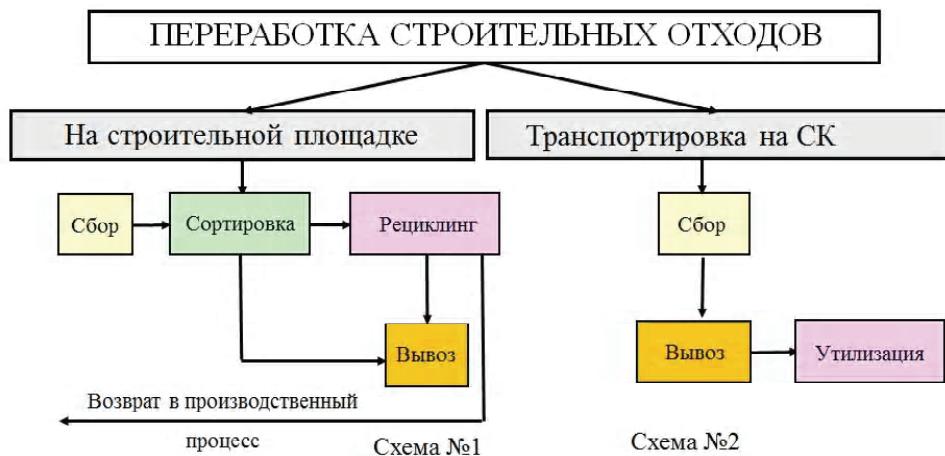


Рисунок 1 – Схемы переработки строительных отходов.

С учетом экологической безопасности наиболее оптимальным способом является переработка отходов на месте их образования (рис. 1). В результате на стройплощадке образуется замкнутый цикл, который начинается стадией демонтажа здания и заканчивается стадией переработки отходов с получением вторичных материалов. Главным достоинством схемы является отсутствие стадии транспортировки отходов самосвалами за пределы территории объекта.

Для переработки строительных отходов на строительной площадке используется, как правило, технологическое оборудование по демонтажу, измельчению и фракционированию [5, 6]. На рисунке 2 представлены основные этапы переработки отходов непосредственно на стройплощадке и показана привносимая дополнительная нагрузка на атмосферный воздух в результате реализуемой деятельности.

При реализации процесса уменьшения поступления строительных отходов в окружающую среду первым этапом обращения с ними является их сбор. Техническим средством, используемым на прилегающей территории, как правило, является экскаватор-погрузчик. С целью обеспечения экологической безопасности оптимальная схема транспортных операций представляет собой минимальное перемещение грузов в рамках земельного участка объекта восстановления. В связи с этим этапы обращения должны быть произведены в непосредственной близости к участкам использования. Вторым этапом обращения со строительными отходами служит их транспортирование внутри строительной площадки объекта. Третий этап процесса подразумевает сортировку строительных отходов.

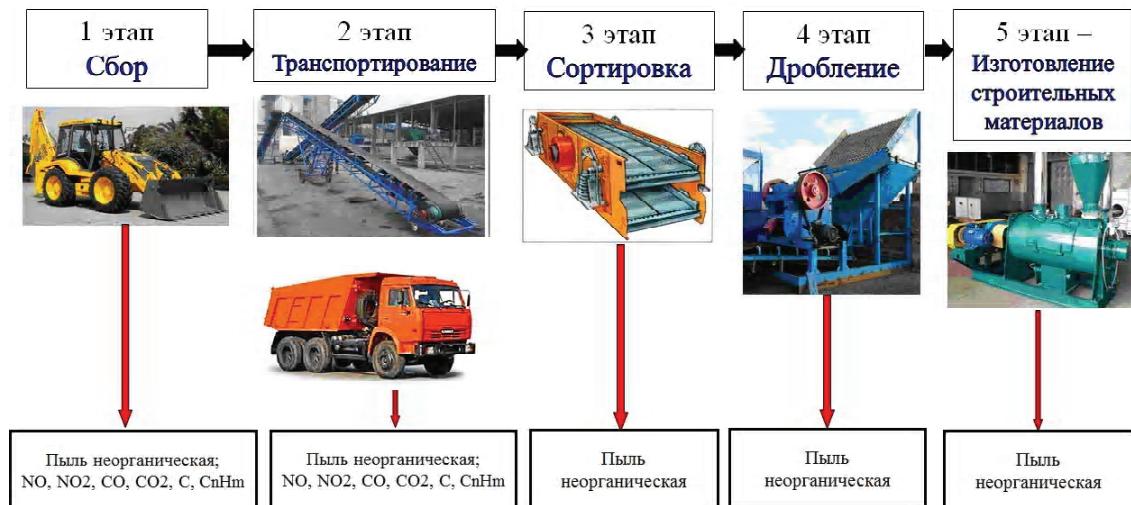


Рисунок 2 – Этапы обращения со строительными отходами на стройплощадке.

Данная операция предназначена для выделения необходимой фракции, готовой для приготовления изделия или материала, не нуждающегося в измельчении. Четвертый этап подразумевает дробление. Пятый этап – приготовление строительных материалов, а заключительным этапом является использование изготовленных изделий и материалов.

Рециклинг строительных отходов – это самый перспективный способ использования отходов, который имеет ряд преимуществ, но нельзя забывать, о том, что в первую очередь технологии переработки должны быть экологически безопасными. Поэтому с учетом экологической безопасности нужно четко понимать, на каком именно условном периоде процесса возведения нового здания необходимо производить переработку отходов с последующим включением в цикл строительства, чтобы данное воздействие минимально повлияло на загрязнение атмосферного воздуха в границах проведения строительных работ, т. е. необходимо учитывать календарный график строительства.

В связи с возможным негативным влиянием объектов нового строительства и работ по сносу имеющихся зданий на состояние атмосферного воздуха в зоне жилой застройки, их необходимо оценивать, как временный источник загрязнения. Важным этапом с учетом обеспечения экологической безопасности зданий в течение всего жизненного цикла следует рассматривать стадию проектирования, на которой должен быть выполнен всесторонний анализ проектных решений и выбран оптимальный вариант, отвечающий требованиям экологической безопасности.

В ранее проведенных исследованиях [3] были определены максимально разовые и валовые значения загрязняющих веществ, которые поступают в атмосферный воздух при проведении строительных операций при возведении зданий на строительной площадке. Полученные расчетным путем величины мощности выбросов вредных веществ, сопоставленные с календарным планом производства выполнения строительных работ, позволили определить наиболее опасный период строительства с учетом воздействия на окружающую среду. Как следует из полученных данных, максимальная величина эмиссии поллютантов в ходе строительных работ приходится на промежуток времени с 50-го по 70-й день, на котором происходит выполнение работ нулевого цикла [4]. На основании полученных данных можно сделать вывод, что с учетом экологической безопасности переработку строительных отходов и вовлечение их в цикл строительства необходимо выполнять непосредственно до полученного опасного периода, т. е. до 50-го дня возведения здания.

Для обоснования эффективности и целесообразности переработки отходов на стройплощадке был также проведен анализ данных [7], который позволил сделать вывод о том, что отходы демонтажа зданий широко используются в качестве вторичного сырья в изготовлении бетона. Строительные отходы возможно разбить на три типа: каменные, железобетонные и деревянные. В таблицах 1 и 2 приведены стандарты, предъявляемые к качеству конструкций на вторичном заполнителе из бетонного лома.

При приготовлении бетона с использованием вторичного щебня наблюдается экономический эффект. Поскольку на первичном щебне стоимость 1 тонны приготовленного бетона составила 1 149,97 руб., а на вторичном – 1 033,91 руб., что на 12 % меньше.

Таблица 1 – Физико-механические свойства вторичных бетонов

| Наименование показателей | Значение показателей | |
|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | На природном заполнителе | Из продуктов дробления бетонных обломков |
| Расход цемента, кг/м ³ | 370 | 411 |
| Водоцементное отношение, В/Ц | 0,43 | 0,45 |
| Плотность, кг/м ³ | 2344 | 2267 |
| Прочность при сжатии в 28 сут., МПа | 53,4 | 57,1 |
| Пиковые деформации, % | 1,9 | 3,2 |
| Модуль упругости, МПа | 37 400 | 30 800 |

Таблица 2 – Использование вторичных бетонов

| Вид заполнителя | Область применения | Марка по прочности, МПа | |
|--|---|-------------------------|-------------|
| | | Проектная | Фактическая |
| Песок + щебень из продуктов дробления отходов бетона | Здания высотой до пяти этажей, конструкции фундаментов производственных объектов | 18 | 30 |
| Песок + песок из продуктов дробления отходов бетона + щебень из продуктов дробления отходов бетона | Фундаментальные блоки, гаражи, неподвижные части машин и механизмов, легкие подсобные помещения | 15 | 27 |
| Песок из продуктов дробления отходов бетона + щебень из продуктов дробления отходов бетона | Фундаменты под легкие конструкции (ворота, забор и т. д.) | 12 | 24 |

Анализ проведенных исследований [6, 8] показал, что существует широкий спектр применения отходов строительства в качестве вторичных материальных ресурсов, себестоимость которых ниже себестоимости первичных материалов. Стоит также отметить, что использование строительных отходов является ресурсосберегающим фактором, уменьшает загрязнение всех компонентов окружающей среды, что сохраняет невосполнимые источники природных ресурсов. Энергозатраты при добыче природного щебня в 8 раз выше, чем при получении щебня из бетона, а себестоимость бетона, изготавливаемого на вторичном щебне, снижается на 25 %. Проведенные нами исследования позволили сделать вывод, что наиболее целесообразно использовать отходы, имеющие размер фракций – 20 мм.

Вопрос об экологической целесообразности размещения технологического оборудования этапа рециклинга в границах санитарно-защитной зоны строительства необходимо изучать для каждого конкретного случая отдельно с учетом всех факторов. И в первую очередь сопоставить величину экологического ущерба при транспортировке отходов к месту переработки, а также величину экологического ущерба при переработке отходов непосредственно на строительной площадке.

В работе предложен методический подход по определению общего экономического и экологического эффекта при переработке строительных отходов [9]. Эколого-экономический эффект заключается в обеспечении отрасли возвратными материалами, уменьшении объемов транспортировки отходов, и как следствие – уменьшение затрат. В качестве методического подхода для определения эколого-экономических выгод от утилизации отходов строительства и сноса предлагается использовать принцип «загрязнитель платит» с применением базовых нормативов платы за размещение отходов. В таблице 3 приведены результаты расчета эффекта от утилизации отходов строительства и сноса.

Кроме того, в работе уточнены методические подходы по оценке ущерба городской среде в связи с экологическими нарушениями [8]. Установлено, что сложившаяся практика захоронения отходов строительства и сноса наносит существенный ущерб окружающей среде и населению. Величина предотвращенного ущерба в виде экономического эффекта от загрязнения окружающей среды отходами должна определяться как разность между расчетными величинами ущерба, который имел место до и после

Таблица 3 – Образование отходов строительства и сноса за 1 год и экономический эффект, полученный от их утилизации (усредненные данные)

| № п/п | Виды отходов | Масса образовавшихся отходов за год, т | Цена за переработку отходов, руб. | Эффект, руб. |
|-------|------------------------------|--|-----------------------------------|--------------|
| 1 | Отходы бетона и железобетона | 1 904 912,6 | 50 | 95 245 630 |
| 2 | Бой кирпича | 630 215,2 | 50 | 31 510 760 |
| 3 | Отходы гидроизоляции | 3 225,2 | 50 | 161 260 |
| Итого | | 2 538 353 | | 126 917 650 |

использования конкретного вида вторсырья в производстве продукции, а также включать предотвращенный ущерб, наносимый этим видом вторичного сырья окружающей среде в условиях, если бы он не использовался.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения исследования предложена схема обращения со строительными отходами на строительной площадке и показана привносимая дополнительная нагрузка на атмосферный воздух в результате реализуемой деятельности; определена оптимальная фракция использования строительных отходов в качестве вторичных материальных ресурсов; обоснована целесообразность использования отходов строительства и демонтажа зданий непосредственно на месте их образования с учетом получения экологического и экономического эффектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе ДНР [Электронный ресурс]. – Официальный сайт. – Режим доступа : <http://gkecopoldnr.ru>.
- Кравцова, М. В. Анализ методов утилизации отходов строительства с последующим вовлечением их во вторичный оборот [Текст] / М. В. Кравцова, А. В. Васильев, А. В. Кравцов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – № 4. – С. 804–809.
- Башевая, Т. С. Анализ уровня воздействия строительного производства в границах строительных площадок [Электронный ресурс] / Т. С. Башевая, А. А. Шейх // Вестник Донбасской академии строительства и архитектуры. – 2019. – Вып. 2019-5(139). – С. 67–70. – Режим доступа : [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-5\(139\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-5(139).pdf).
- Башевая, Т. С. Определение величины эмиссии загрязняющих веществ и установление опасного расстояния для строящихся объектов с различными конструктивными особенностями [Текст] / Т. С. Башевая, А. А. Шейх // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2020. – № 2(11). – С. 20–26.
- Weisheng, Lu. A framework for understanding waste management studies in construction / Weisheng Lu, Hongping Yuan // Waste Management, 2011. – V. 31, N. 6. – P. 1252–1260.
- Губанов, Л. Н. Переработка, утилизация и рациональное использование строительных отходов [Текст] / Л. Н. Губанов, В. И. Зверева, А. Ю. Зверева // Приволжский научный журнал. – 2013. – № 2(26). – С. 94–98.
- Арсентьева, В. А. Современные технологические линии для строительного рециклинга [Текст] / В. А. Арсентьева, Д. Д. Добромуслов, В. З. Мармандян // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 62–66.
- Лунев, Г. Г. Анализ экономической эффективности цикла переработки вторичных строительных ресурсов [Текст] / Г. Г. Лунев // Вестник ЮРГТУ. – 2014. – № 1. – С. 127–137.
- Янев, Г. А. Эколого-экономические аспекты переработки отходов строительства и сноса [Текст] / Г. А. Янев // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2004. – № 8. – С. 328–229.

Получена 14.09.2020

О. О. ШЕЙХ
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА
ДОЦІЛЬНОСТІ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ У МЕЖАХ БУДІВЕЛЬНОГО
МАЙДАНЧИКА
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі встановлено, що застосування будівельних відходів найбільш ефективно слід проводити на місці демонтажних робіт, реалізуючи процес за допомогою технології, що включає їх сортування, подрібнення, підготовку, приготування і використання. Запропоновано схему поводження з

будівельними відходами на будівельному майданчику і показано привносне додаткове навантаження на атмосферне повітря в результаті реалізованої діяльності. На підставі календарного графіка виконання будівельних робіт, з урахуванням екологічної безпеки, визначена стадія, на якій необхідно виконувати рециклінг відходів з подальшим включенням в процес зведення нової будівлі. Визначено оптимальну фракцію використання будівельних відходів як вторинних матеріальних ресурсів. Запропоновано методичний підхід до визначення загального економічного та екологічного ефекту при переробці будівельних відходів.

Ключові слова: екологічна безпека, будівництво, забруднення навколошнього середовища, відходи будівництва, етапи переробки, вторина сировина, еколого-економічний ефект.

ALEXANDRA SHEIKH

ECOLOGICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY AND EXPEDIENCY OF WASTE PROCESSING WITHIN THE BOUNDARIES OF THE CONSTRUCTION SITE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. It is established that the use of construction waste should be carried out most effectively at the site of dismantling works, implementing the process through technology that includes sorting, grinding, preparation, preparation and use. The scheme of construction waste management at the construction site is proposed and the additional load on the atmospheric air is shown as a result of the implemented activity. Based on the calendar schedule of construction works, from the point of view of environmental safety, the stage at which it is necessary to perform waste recycling with subsequent inclusion in the process of constructing a new building is determined. The optimal fraction of the use of construction waste as secondary material resources is determined. A methodological approach to determining the overall economic and environmental impact of construction waste processing is proposed.

Keywords: environmental safety, construction, environmental pollution, construction waste, processing stages, secondary raw materials, environmental and economic effect.

Шейх Александра Александровна – асистент кафедри техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение экологической безопасности в строительстве; оценка уровня воздействия на атмосферный воздух процесса возведения зданий.

Шейх Олександра Олександрівна – асистент кафедри техносферной безопасности ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення екологічної безпеки в будівництві; оцінка рівня впливу на атмосферне повітря процесу зведення будівель.

Sheikh Alexandra – Assistant, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of environmental safety in construction; assessment of the level of impact on the atmospheric air of the process of construction of buildings.

УДК 628.544

Д. А. ДОСТОВАЛОВА^а, Н. С. ПОДГОРОДЕЦКИЙ^а, Г. В. ЧУДАЕВА^б^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СЫРЬЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПОРОДНОГО ОТВАЛА ШАХТЫ ИМ. М. И. КАЛИНИНА
ГП «МАКЕЕВУГОЛЬ»**

Аннотация. В статье представлены результаты научного исследования по снижению экологической опасности породного отвала шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь» путем включения отвальной породы в процесс утилизации с целью извлечения промышленного сырья. Выполнена оценка возможности сырьевого использования породного отвала шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь» на основании результатов химического анализа суммы полуторных оксидов металлов в образце перегоревшей породы. Проведено качественное испытание состава образцов отвальной породы с целью определения объемного содержания нерастворимого остатка исследуемых образцов. Произведен химический анализ суммы полуторных оксидов металлов в образце перегоревшей породы.

Ключевые слова: экологическая опасность, породный отвал, утилизация, полуторные оксиды металлов.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Исследуемая проблема снижения экологической опасности шахтных породных отвалов является одной из главных задач в области защиты окружающей среды на территории Донбасса. Производственная деятельность угольных шахт сопровождается складированием и накоплением отходов угледобычи, формированием породных отвалов, которые являются источниками выбросов пыли и различных химических соединений, негативно влияющих на окружающую среду. С другой стороны, породные отвалы содержат компоненты для производства бокситов и алюминиевых сплавов, редкоземельные металлы, железосодержащую руду, силикатные материалы для строительных целей [1], извлечение которых позволит повысить экономическую эффективность добычи и переработки угля в регионе.

Полный технический анализ породного отвала шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь» позволит определить состав и химическую чистоту породных компонентов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В работе [2] рассматривается современное состояние утилизации отвальной породы угольных шахт. Показано усовершенствование кислотного выщелачивания и новое биохимическое выщелачивание Al из терриконов. Продемонстрирована возможность получения Ga, Ge, Bi, Fe, U методами флотации и биохимического выщелачивания из отвальной породы угольных шахт Донбасса.

В работе [3] установлено, что концентрация глинозема в породных отвалах города Донецка колеблется в пределах 11,7...29,4 %. Она зависит от уровня его изначального содержания в отрабатываемой осадочной породе, которое определяется условиями седиментогенеза первичного осадка, последующими процессами диагенеза, катагенеза и гидротермальных преобразований. Установлено также, что одними из важных факторов, влияющих на распределение глинозема в породной массе, являются характер и степень ее преобразования в пределах отвала.

В работе [4] определен химический состав ряда породных отвалов шахт Донецкого региона, в частности выявлено повышенное содержание угля – от 28 до 46 %, оксида алюминия – Al_2O_3 (до 15 %),

германия (до 55 г/т). Основную массу составляют оксиды кремния и железа (SiO_2 – 47 %, Fe_2O_3 – 20 %), щелочные компоненты – CaO и MgO не превышают 5 %.

В работах [5–6] представлены результаты мониторинга теплового состояния действующего шахтного отвала горных пород шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь». Идентифицирован состав образцов шахтной породы с использованием метода молекулярной спектроскопии. Данные спектрального анализа свидетельствуют о высокой степени минерализации перегоревшей породы, что подтверждается смещением полос поглощения оксидов. В образцах породы обнаружены полуторные оксиды кремния, железа и алюминия.

Таким образом, проведение полного технического анализа породного отвала шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь» позволит в дальнейшем разработать комплексную технологию переработки породного отвала.

ЦЕЛЬ

Оценка возможности сырьевого использования породного отвала шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь» на основании результатов химического анализа суммы полуторных оксидов металлов в образце перегоревшей породы.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Объектом исследования является породный отвал шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь», расположенный на северо-востоке от промышленной площадки шахты.

Поле шахты им. М. И. Калинина расположено в юго-восточной части южного крыла Кальмиус-Торецкой котловины Донецко-Макеевского угленосного района и располагается в северо-восточной части города Донецка. В административном делении горный отвод шахты расположен в Калининском, Киевском, Ворошиловском районах города Донецка и Червоногвардейском районе города Макеевка [7].

В настоящий момент ведутся работы по разработке пласта h_{10} «Ливенский». Мощность пласта увеличивается с запада на восток от 0,99 до 1,27 м, строение преимущественно простое. Угол падения пласта в пределах шахтного поля колеблется от 15° до 27°.

В кровле пласта залегает аргиллит с преобладающей мощностью до 12 м, средней крепости. Непосредственно над пластом аргиллит мощностью от 0,1 до 0,2 м с ярко выраженной слоистостью, с большим количеством отпечатков обуглившихся растений. Этот слой весьма неустойчивый, обрушивается вслед за выемкой угля, образуя «ложную» кровлю.

В почве пласта залегает алевролит и частично песчаник. Мощность алевролита изменяется от 0,8 до 13,6 м.

Породный отвал по форме плоский, эксплуатируется с 1962 года, площадь основания породного отвала по проекту составляет 260 000 м², фактическая площадь основания породного отвала – 213 188 м²; высота породного отвала по проекту – 100 м, фактическая высота – 82 м; количество накопленной породы на 01.01.2012 г. составляет 12 869 тыс. м³ [7].

Отбор проб горных пород шахты производился в соответствии с ДСТУ ISO 10381-1-10381-4:2004.

Ввиду того, что содержание силикатов в отвальных породах может варьировать в очень широких пределах, при определении полуторных оксидов схема анализа должна быть выбрана в соответствии с примерным содержанием силикатов [8]. Поэтому исследование проводилось в два этапа.

На первом этапе было проведено качественное испытание состава образцов отвальной породы с целью определения объемного содержания нерастворимого остатка исследуемых образцов. Для этого предварительно измельченную отвальнюю породу до фракций 0,05...1,00 мм разложили хлороводородной кислотой до получения нерастворимого остатка. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Во всех исследуемых образцах содержание нерастворимого остатка варьировалось в пределах от 79,3 до 84,2 %.

На втором этапе исследований с учетом того, что во всех образцах выявлено очень высокое содержание нерастворимого остатка, была принята следующая схема химического анализа по определению полуторных оксидов [8].

Навеску измельченной породы обработали хлороводородной кислотой, полученный раствор выпарили досуха на спиртовой горелке. Сухой остаток смочили хлороводородной кислотой и обработали горячей водой. Нерастворимый остаток отфильтровали, прокалили в платиновом тигле, взвесили и

Таблица 1 – Объемное содержание нерастворимого остатка

| Номер образца отвальной породы | Объемное содержание нерастворимого остатка, % |
|--------------------------------|---|
| Образец № 1 | 80,6 |
| Образец № 2 | 82,3 |
| Образец № 3 | 81,8 |
| Образец № 4 | 84,2 |
| Образец № 5 | 79,3 |

затем смешали с карбонатом натрия. Сплавление продолжалось в течение 20 минут. Полученный сплав растворили в хлороводородной кислоте и раствор выпарили на спиртовой горелке досуха. Остаток смочили хлороводородной кислотой, залили кипящей водой, затем отфильтровали кремневую кислоту до полного отмывания хлоридов. Фильтр с осадками кремневой кислоты поместили в платиновый тигель, озолили и прокалили в течение 20 мин при температуре 1 000 °С. Получившийся в результате прокаливания остаток обработали сульфатной кислотой и плавиковой кислотой. Кислоты выпарили, остаток прокалили, постепенно повышая температуру, и взвесили. Разница в весе тигля с прокаленным кремнеземом и тигля с остатком после выпаривания с плавиковой и сульфатной кислотами равна массе полуторных оксидов металлов. Результаты исследований приведены в табл. 2. На рисунке представлены отчетные фото с места проведения эксперимента.

Таблица 2 – Объемное содержание полуторных оксидов металлов

| Номер образца отвальной породы | Объемное содержание полуторных оксидов металлов, % |
|--------------------------------|--|
| Образец № 1 | 7,35 |
| Образец № 2 | 8,4 |
| Образец № 3 | 4,0 |
| Образец № 4 | 10,2 |
| Образец № 5 | 6,8 |

**Рисунок – Определение объемного содержания полуторных оксидов металлов в образце отвальной породы.**

При среднем объемном содержании полуторных оксидов металлов 7,35 % и ориентировочной массе породного отвала 22,9 млн т, приблизительное суммарное содержание оксидов металлов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO) может составлять 1,7 млн т.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что при среднем объемном содержании полуторных оксидов металлов 7,35 % и ориентировочной массе породного отвала 22,9 млн т, приблизительное суммарное содержание оксидов металлов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO) может составлять 1,7 млн т.

Целесообразна дальнейшая идентификация химического состава отвального породы шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь» для выбора технологической схемы процесса утилизации и извлечения промышленного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том 1. Металічні корисні копалини [Текст] / Д. С. Гурський, К. Ю. Єсипчук, В. І. Калінін [та ін.] ; за ред. М. П. Щербака та С. В. Гошовського / Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України і геологічна секція Українського державного геологорозвідувального ін-ту. – Київ-Львів : «Центр Європи», 2005. – 785 с.
2. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса [Текст] : монография / Л. Г. Зубова, А. Р. Зубов, К. И. Верех-Белоусова, Н. В. Олейник. – Луганськ : изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 144 с.
3. Выборов, С. Г. Перспективы отвальных пород в качестве алюминиевого сырья [Текст] / С. Г. Выборов, А. А. Силин // Уголь Украины. – 2012. – № 6. – С. 33–39.
4. Мнухин, А. Г. Комплексная переработка породных отвалов шахт Донецкого региона [Электронный ресурс] / А. Г. Мнухин. – Режим доступа : <http://masters.donntu.org/2014/igg/kazub/library/article8.htm>.
5. Достовалова, Д. А. Мониторинг теплового состояния отвала горных пород шахты им. М. И. Калинина [Электронный ресурс] / Д. А. Достовалова, Н. С. Подгородецкий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2019. – Вып. 2019-5(139) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 32–39. – Режим доступа : [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-5\(139\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-5(139).pdf).
6. Достовалова, Д. А. Анализ факторов воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду [Текст] / Д. А. Достовалова, Н. С. Подгородецкий // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции (апрель-сентябрь 2020 г., Москва) ; в 3 т., том 1. – Москва : РУДН, 2020. – С. 309–313.
7. Технический отчет о температурной съемке действующего породного отвала шахты М. И. Калинина ГП «Донецкая топливная энергетическая компания» [Текст] / ОП «Донецкое УТППОРЗ» ГП «ДУЭК». – Донецк : [б. и.], 2012. – 18 с.
8. Локонов, М. Ф. Анализ минерального сырья [Текст] / М. Ф. Локонов, С. Г. Чернорук, М. М. Стукалова [и др.]; под общ. ред. Ю. Н. Книпович, Ю. В. Мурачевского. – Л. : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1959. – 1055 с.

Получена 17.09.2020

Д. О. ДОСТОВАЛОВА^a, М. С. ПОДГОРОДЕЦЬКІЙ^a, Г. В. ЧУДАЄВА^b
ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ СИРОВИННОГО ВИКОРИСТАННЯ ПОРОДНОГО
ВІДВАЛУ ШАХТИ ІМ. М. І. КАЛІНІНА ДП «МАКІЇВВУГІЛЛЯ»

^aДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^bДОУ ВПО
«Донецький національний технічний університет»

Анотація. У статті представлені результати наукового дослідження щодо зниження екологічної небезпеки породного відвалу шахти ім. М. І. Калініна ДП «Макіїввугілля» шляхом включення відвальної породи в процес утилізації з метою вилучення промислової сировини. Виконано оцінку можливості сировинного використання породного відвалу шахти ім. М. І. Калініна ДП «Макіїввугілля» на підставі результатів хімічного аналізу суми полуторних оксидів металів у зразку перегорілої породи. Проведено якісне випробування складу зразків відвальної породи з метою визначення об'ємного вмісту нерозчинного залишку досліджуваних зразків. Зроблено хімічний аналіз суми полуторних оксидів металів у зразку перегоріли породи.

Ключові слова: екологічна небезпека, породний відвал, утилізація, полуторні оксиди металів.

DARIA DOSTOVALOVA^a, NICHOLAS PODGORODETSKY^a,

GALINA CHUDAEVA^b

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF RAW MATERIAL USE OF THE WASTE
DUMP OF THE MINE M. I. KALININA STATE ENTERPRISE «MAKEEVCOAL»

^aDonbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Donetsk National
Technical University

Abstract. The article presents the results of a scientific study to reduce the environmental hazard of the waste dump of the mine. M. I. Kalinin State Enterprise «Makeevcoal», by including the waste rock in the disposal process, in order to extract industrial raw materials. The assessment of the possibility of raw material

use of the waste dump of the mine M. I. Kalinina State Enterprise «Makeevcoal» on the basis of the results of chemical analysis of the sum of metal sesquioxides in a sample of burnt rock A qualitative test of the composition of the waste rock samples was carried out in order to determine the volumetric content of the insoluble residue of the samples under study. Chemical analysis of the sum of metal sesquioxides in a sample of burned-out rock was carried out.

Key words: environmental hazard, waste dump, disposal, metal sesquioxides.

Достовалова Дарья Александровна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование химического состава сбрасываемых шахтных вод Донбасса, разработка технологической схемы очистки шахтных вод с перспективой их повторного использования. Исследование процесса горения и химического состава породы шахтных отвалов Донбасса и их воздействия на окружающую среду с целью разработки технологии их газификации, утилизации тепловой энергии, а также выщелачивания металлов из породы.

Подгородецкий Николай Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: охрана труда в строительстве; повышение энергоэффективности управления измельчительным переделом промышленного сырья в строительстве; повышение эффективности ультразвуковых методов контроля и диагностики для обеспечения безопасной эксплуатации строительных объектов; экологическая безопасность в строительстве и городском хозяйстве.

Чудаева Галина Владимировна – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: изучение и анализ тяжелых металлов в шахтных водах; изучение и анализ тяжелых металлов в углеродистых отложениях промышленных отходов.

Достовалова Дар'я Олександрівна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження хімічного складу шахтних вод Донбасу, що скидаються, розробка технологічної схеми очищення шахтних вод з перспективою їх повторного використання. Дослідження процесу горіння і хімічного складу породи шахтних відвалів Донбасу і їх впливу на навколошне середовище з метою розробки технології їх газифікації, утилізації теплової енергії, а також вилуговування металів з породи.

Подгородецький Микола Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: охорона праці в будівництві; підвищення енергоефективності управління подрібнювальним переделом промислової сировини в будівництві; підвищення ефективності ультразвукових методів контролю і діагностики для забезпечення безпечної експлуатації будівельних об'єктів; екологічна безпека в будівництві і міському господарстві.

Чудаєва Галина Володимирівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри прикладної екології та охорони навколошнього середовища ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: вивчення і аналіз важких металів в шахтних водах; вивчення та аналіз важких металів в вуглецевих відкладеннях промислових відходів.

Dostovalova Daria – master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: study of the chemical composition of the discharged mine waters of the Donbass, development of a technological scheme for cleaning mine waters with the prospect of their reuse. Study Gorenje process and chemical composition of the rock of the Donbass mine dumps and their impact on the environment in order to develop technologies for their gasification, heat energy utilization, and leaching of metals from the rock.

Podgorodetsky Nicholas – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: labor safety in construction; improving management efficiency crushing redistribution of industrial raw materials in construction; improving the efficiency of ultrasonic methods for monitoring and diagnostics to ensure safe operation of construction projects.

Chudaeva Galina – Ph. D. (Chemical), Associate Professor, Applied Ecology and Environmental Protection Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: study and analysis of heavy metals in mine waters; study and analysis of heavy metals in carbonaceous sediments of industrial waste.

УДК 697.12

А. А. ОЛЕКСЮК, А. В. ПЛУЖНИК, Б. В. КЛЯУС
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ, ИЗМЕРЯЮЩИХ ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ОТОПЛЕНИЕМ

Аннотация. В современной строительной практике более половины эксплуатируемых систем отопления нуждаются в термомодернизации. Однако для подбора эффективной системы отопления необходимо знать фактические теплотехнические характеристики помещения и параметры внутреннего микроклимата в зависимости от колебаний наружной температуры воздуха. В данной статье рассмотрены проблемы энергоэффективной эксплуатации систем водяного отопления зданий общественного назначения. Проанализированы действующие нормы по обеспечению требуемого микроклимата в помещениях с применением периодической системы топления. Рассмотрен метод оценки комфортности микроклимата как измерение и оценка основных параметров температурно-влажностного режима помещения. Выполнен обзор контрольно-измерительных приборов для определения параметров микроклимата. Определены преимущества и недостатки основных приборов, рекомендованных нормативными документами для проведения натурных исследований. С учетом проведенного анализа сделан вывод о целесообразности применения данных приборов для проведения эксперимента с применением прерывистого отопления.

Ключевые слова: параметры микроклимата, периодическое отопление, датчики температуры.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современные требования к проектированию систем отопления направлены на повышение эффективности их эксплуатации. В последнее десятилетие для всего мира возросла актуальность энергосбережения и защиты окружающей среды во всех областях жизнедеятельности человека. Эффективность этих мероприятий должна быть оценена не только с учетом экономических показателей, но и с учетом поддержания комфортного микроклимата, поэтому комфортные для человека параметры внутренней среды помещения выступают в качестве целевой функции и одновременно являются ограничением при реализации энергосберегающих решений [1].

На сегодняшний день проблема энергосбережения приобрела статус приоритетной задачи. Это обусловлено как неконтролируемым расходованием энергоресурсов, так и постоянным ростом их стоимости. Исследованиям энергоэффективного управления тепловыми режимами зданий посвящено много работ таких авторов как: И. М. Кирпичникова, N. Aste, C. DelPero, E. Burman, D. Mumovic, J. Kimpian, F. Ascione, L. Sarto, E. Carrascal [2–7].

Для применения энергоэффективных мероприятий важно учитывать показатель комфорта человека внутри этого помещения, измеряя показатели микроклимата, такие как внутренняя температура воздуха и влажность. В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» нормативные значения микроклимата составляют в холодный период года (среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 °C):

- температура воздуха – 18...20 °C;
- относительная влажность воздуха – 40...60 %;

ЦЕЛЬ

Проанализировать метод оценки комфортности микроклимата, провести оценку существующих контрольно-измерительных приборов для определения основных параметров температурно-влажностного режима помещения.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Энергоресурсы являются одним из основных источников жизнеобеспечения государства. Их рациональное использование на стадиях добычи, транспортировки, переработки позволит снизить текущие издержки предприятий и организаций, тем самым решить многие экономические проблемы. Вопросы энергосбережения затрагивают в равной степени как промышленные предприятия, так и объекты социально-бытовой сферы бюджетов всех уровней. Например, большинство общественных зданий не работает в ночной и вечерний период. В выходные дни помещения пустуют, а отопление работает в обычном рабочем режиме, что не целесообразно с учетом оптимального использования энергоресурсов.

Согласно [8] в зданиях общественного назначения в нерабочее время суток температуру внутреннего воздуха в помещениях разрешается поддерживать ниже нормируемой. Благодаря этому появляется возможность значительно снизить расход энергии в системах отопления. Для большинства общественных, учебных, офисных, административно-бытовых зданий нерабочее время может составлять в среднем до 40 % в будние дни и до 100 % в выходные и праздничные [9].

Комплексный подход по решению энергоэкономических мероприятий включает в себя: повышение эффективности отдельных элементов системы; выбор оптимальной мощности источников тепла; оптимизацию параметров тепловой схемы; оптимизацию режимов тепловой нагрузки зданий и др.

Обеспечить оптимизацию режимов тепловой нагрузки зданий при периодическом снижении температуры внутреннего воздуха в помещении позволит реализация так называемого периодического отопления, однако для получения максимального эффекта необходимо решить задачу оптимального управления данной технологией.

Задача при использовании периодического отопления должна решаться совместно с вопросами тепловых режимов зданий. При этом важным условием является согласование режимов работы источника тепла и системы отопления здания [10]. Также необходимо учитывать изменение показателей микроклимата в помещении.

Учет и определение параметров микроклимата в зданиях необходимо выполнять из условий комфорtnого пребывания в них человека, с обеспечением возможности индивидуального регулирования параметров с целью соответствия субъективным ощущением комфорта потребителя.

Наиболее распространенным в настоящее время является такой способ определения комфорtnости микроклимата как измерение и оценка отдельных составляющих температурно-влажностного режима помещения: температуры, подвижности, относительной влажности воздуха, а также характеристик теплового излучения [11].

Сейчас на рынке контрольно-измерительных устройств представлены разнообразные датчики влажности зарубежных и отечественных производителей в разной ценовой политике. Каждому датчику измерения влажности и температуры свойственны определенные достоинства и недостатки.

Несмотря на существующее многообразие средств измерения влажности и температуры, выбор наиболее подходящего из них для конкретных условий эксплуатации должен быть обоснованным.

Общим и существенным для всех методов измерения температуры является то, что всякий прибор, измеряющий температуру среды, должен находиться с ней в тепловом контакте, то есть иметь одинаковую со средой температуру. Основными узлами всех приборов для измерения температуры являются: чувствительный элемент, где реализуется термометрическое свойство, и связанный с ним измерительный прибор, который измеряет численные значения этого свойства.

Существует несколько основных типов датчиков, применяемых для измерения температуры и влажности [12].



Рисунок 1 – Термогигрометр цифровой.

Сравнительный анализ приборов для измерения тепловых характеристик параметров микроклимата приведен ниже

1. Термогигрометр цифровой (рис. 1).

Цифровой термогигрометр применяется для измерения текущей температуры и влажности воздуха в помещении, контроля максимальных и минимальных зафиксированных показателей.

Принцип действия электронного вида основывается на свойстве электролита,

нанесенного на электроизоляционный слой, изменять свою концентрацию при изменении количества водяных паров в воздухе [13]. Этот тип датчиков уровня влажности имеет малые размеры, что позволяет его устанавливать в небольших по размерам устройствах. Его достоинство – это способность измерять увлажненность воздуха вне зависимости от температуры окружающей среды.

2. Термометр – гигрометр цифровой портативный IT-8-RHT (рис. 2).

Гигрометр рассчитан на работу в условиях эксплуатации с температурой воздуха от -40 до $+55$ °C. При подключении первичного преобразователя к прибору через разъём позволяет использовать измеритель с несколькими датчиками одновременно, а также легко заменить преобразователь в случае выхода его из строя.

Преимуществом данного вида устройств является: высокая точность измерения, низкая дополнительная температурная погрешность, яркий большой светодиодный индикатор с режимом энергосбережения

3. Датчик влажности и температуры версия «LIGHT» (рис. 3).

Датчики выполнены на базе микропроцессора, что делает их одними из самых точных датчиков для систем вентиляции – имеют основную абсолютную погрешность измерения $\pm 2\%$ в диапазоне 10...90 % относительной влажности, а также дополнительную погрешность из-за влияния температуры всего 0,05 % на каждый °C вне температуры окружающего воздуха 10...40 °C. Одним из недостатком является высокая стоимость.

4. Датчик температуры и влажности Xiaomi (Mi Temperature Humidity Monitor) (рис. 4).



Рисунок 2 – Термометр – гигрометр цифровой портативный IT-8-RHT.



Рисунок 3 – Датчик влажности и температуры версия «LIGHT».



Рисунок 4 – Датчик температуры и влажности Xiaomi.

Представленный датчик отслеживает температуру и влажность помещения в реальном времени. Данный датчик имеет очень высокую надежность и отличную долговременную стабильность. Датчик состоит из емкостного элемента влажности и встроенных высокоточных устройств измерения температуры, и связан с высокопроизводительным микропроцессором. Как только показатели превысят значения нормы – автоматически отправляет сигнал тревоги. В приложении показатели видны в динамике.

Несмотря на минималистский дизайн и миниатюрные габариты, точность измерений достаточно высока: погрешность в измерении температуры ± 0.3 °, погрешность в измерении влажности ± 3 %.

Такой датчик необходим, чтобы обезопасить от непредвиденных происшествий и вовремя среагировать.

Для работы коммутатора необходимо приложение Smart Home с интуитивным интерфейсом (рис. 5).



Рисунок 5 – Интерфейс приложения.

ВЫВОД

Исходя из всего перечисленного для проведения эксперимента по измерению параметров микроклимата в помещении с прерывистым отоплением был выбран датчик температуры и влажности Xiaomi в связи с высокой точностью, оперативностью реагирования на изменения температуры и влажности воздуха, а также наличием программного обеспечения. В качестве резервного прибора решено было использовать термогигрометр цифровой в связи с компактностью и способностью измерять увлажненность воздуха вне зависимости от температуры окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кувшинов Г. Г. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения [Текст] : учеб. пособие / Г. Г. Кувшинов, Ю. Л. Крутский. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008. – 119 с.
2. Повышение качества регулирования систем электроотопления [Текст] / И. М. Кирпичникова, Е. Л. Файда, А. Ю. Усков [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2012. – № 37. – Р. 87–89.
3. Aste, N. Energy retrofit of commercial buildings: case study and applied methodology [Текст] / N. Aste, C. Del Pero // Energy Efficiency. – 2013. – Т. 6, № 2. – Р. 407–423.
4. Burman, E. Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings [Текст] / E. Burman, D. Mumovic, J. Kimpian // Energy. – 2014. – Т. 77. – Р. 153–163.
5. Ascione, F. A new methodology for cost-optimal analysis by means of the multi-objective optimization of building energy performance [Текст] / F. Ascione // Energy and Buildings. – 2015. – Т. 88. – Р. 78–90.
6. Sarto, L. Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy [Текст] / L. Sarto // Energy and Buildings. – 2013. – Т. 67. – Р. 298–308.
7. Carrascal, E. Optimization of the heating system use in aged public buildings via model predictive control [Текст] / E. Carrascal // Energies. – 2016. – Т. 9. – № 4. – Р. 251.
8. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (с Изменением № 1) [Текст]. – Введ. 2017-06-17. – М. : Минстрой России, 2016. – 95 с.
9. Малявина, Е. Г. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты [Текст] / Е. Г. Малявина, Р. Р. Асатов // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 324–327.
10. Панферов, В. И. Эффективные энергосберегающие решения при теплоснабжении зданий / В. И. Панферов, Е. Ю. Анисимова, С. В. Панферов [Текст] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2015. – Т. 15. – № 4. – С. 40–48.
11. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]. – Взамен ГОСТ 30494-96 ; введ. 2013-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 11 с.
12. Громов, В. С. Современные полупроводниковые интегральные датчики температуры [Текст] / В. С. Громов, С. М. Шестимеров, С. У. Увайсов // Датчики и системы. – 2010. – № 12. – С. 59–68.

13. Шитиков, А. Цифровые датчики температуры от Dallas Semiconductor [Текст] / А. Шитиков // Компоненты и технологии. – 2001. – № 12. – С. 48–51.

Получена 18.09.2020

А. О. ОЛЕКСЮК, А. В. ПЛУЖНИК, Б. В. КЛЯУС
АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ, ЩО ВИМІРЮЮТЬ ПАРАМЕТРИ МІКРОКЛІМАТУ В
ПРИМІЩЕННІ З ПЕРІОДИЧНИМ ОПАЛЮВАННЯМ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У сучасній будівельній практиці більше половини експлуатованих систем опалення потребують термомодернізації. Однак для підбору ефективної системи опалення необхідно знати фактичні теплотехнічні характеристики приміщення і параметри внутрішнього мікроклімату залежно від коливань зовнішньої температури повітря. У даній статті розглянуті проблеми енергоефективної експлуатації систем водяного опалення будівель громадського призначення. Проаналізовано діючі норми щодо забезпечення необхідного мікроклімату в приміщеннях із застосуванням періодичної системи опалення. Розглянуто метод оцінки комфортності мікроклімату як вимір і оцінка основних параметрів температурно-влагісного режиму приміщення. Виконано огляд контрольно-вимірювальних пристрій для визначення параметрів мікроклімату. Визначено переваги та недоліки основних пристрій, рекомендовані нормативними документами для проведення натурних досліджень. З урахуванням проведеного аналізу зроблено висновок про доцільність застосування даних пристрій для проведення експерименту із застосуванням переривчастого опалення.

Ключові слова: параметри мікроклімату, періодичне опалення, датчики температури.

ANATOLIY OLEKSYUK, ANASTASIA PLUZHNIK, KLYAUS BOGDAN
ANALYSIS OF DEVICES THAT MEASURE MICROCLIMATE PARAMETERS IN
A ROOM WITH PERIODIC HEATING
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In modern construction practice, more than half of the heating systems in use require thermal modernization. However, in order to select an effective heating system, it is necessary to know the actual thermal technical characteristics of the room and the parameters of the internal microclimate, depending on fluctuations in the external air temperature. This article discusses the problems of energy efficient operation of water heating systems for public buildings. The current standards for ensuring the required microclimate in premises using a periodic heating system have been analyzed. A method for assessing the comfort of a microclimate is considered as a measurement and assessment of the main parameters of the temperature and humidity conditions of a room. An overview of instrumentation for determining the parameters of the microclimate is carried out. The advantages and disadvantages of the main devices recommended by regulatory documents for carrying out field studies are determined. Taking into account the analysis, it was concluded that it is advisable to use these devices for conducting an experiment with the use of intermittent heating.

Key words: microclimate parameters, intermittent heating, temperature sensors.

Олексюк Анатолій Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения, использование трехконтурных теплообменников.

Плужник Анастасия Вадимовна – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения.

Кляус Богдан Валентинович – кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения.

Олексюк Анатолій Олексійович – доктор технічних наук, професор кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання, використання триконтурних теплообмінників.

Плужник Анастасія Вадимівна – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплогазопостачання.

Кляус Богдан Валентинович – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплогазопостачання.

Oleksyuk Anatoliy – Ph. D. (Eng.), Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heatsaving in systems of a heat supply, use of three-circuit heat exchangers.

Pluzhnik Anastasia – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

Klyaus Bogdan – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

УДК 628.396

А. С. ПАВЛЮЧЕНКО^а, Н. И. ГРИГОРЕНКО^б

^аАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ», ^бГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЗАКАЧКИ СТОКОВ В ПЛАСТ

Аннотация. Вопрос утилизации промышленных стоков зачастую требует громоздкого и дорогостоящего решения. Альтернативным вариантом при соблюдении всех норм безопасности может служить их захоронение в пласт. Обезвреживание сточных вод таким путем используется при добыче газа и нефти, однако для того, чтобы перенять этот опыт для других отраслей промышленности, необходимо рассмотреть некоторые недостаточно изученные моменты. Статья посвящена вопросу выбора оборудования насосных станций при закачке производственных сточных вод в пласт. Предложен вариант замены поршневых насосов на многоступенчатые центробежные насосы в условиях прерывистой подачи и больших напоров. Рассмотрены общая схема обвязки насосов и оборудования, а также достоинства и недостатки данного проектного решения.

Ключевые слова: захоронение сточных вод, центробежный насос, поршневой насос, обвязка насосов.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Закачка стоков в пласт довольно известный процесс в нефтедобывающей промышленности. Дан- ный процесс позволяет поддерживать пластовое давление и увеличивает отдачу нефти, а также ре- шает еще две проблемы одновременно: снижает затраты пресной воды на заводнение и утилизирует стоки, очистка которых зачастую требует строительства сложных очистных сооружений. Идея та- ким образом обезвреживать сточные воды рассматривалась уже давно и используется на практике при обработке особо токсичных или трудно поддающихся очистке промышленных стоков [1]. На сегодняшний день идет интенсивное строительство нефтяных и газовых месторождений, на кото- рых повсеместно используется закачка стоков в пласт. Разработка насосных станций с применением современных подходов к проектированию и технологий позволяет сделать этот процесс более эконо- мичным, ускорить сроки строительства, сократить эксплуатационные затраты. При удачном опыте внедрения предлагаемых решений в сфере нефте-газодобычи его возможно будет перенять для захо- ронения сточных вод и на других промышленных объектах.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Захоронение сточных вод под землей имеет ряд достоинств, а также ряд ограничений. К достоин- ствам можно отнести более низкие затраты на строительство и эксплуатацию поглощающих сква- жин по сравнению с очистными сооружениями для обработки аналогичных стоков [2, 4], защита поверхности источников воды и почв от промышленных сточных вод [1]. Однако существуют сле- дующие ограничения: глубина закачки стоков должна быть больше глубины залегания водоносных горизонтов, подземные полости должны быть устойчивы к разрушениям и фильтрации токсичных веществ, небольшая приемистость поглощающих скважин (порядка 1 500...2 000 м³/сут), недоста- точная изученность геологии может привести к загрязнению окружающей среды.

Для закачки стоков обычно практиковалось применение поршневых насосов. Это объясняется высоким КПД их работы, тихоходностью, большим напором и независимостью подачи от него. Не- смотря на очевидные достоинства поршневых насосов, их использование для сточных жидкостей не отвечает современным требованиям, кроме того, они имеют большие габариты, сложную конструк- цию и работают с перерывами подачи жидкости [5]. Поэтому для закачки сточных вод в пласт пред- лагается заменить поршневые насосы на многоступенчатые центробежные.

© А. С. Павлюченко, Н. И. Григоренко, 2020

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Рассмотреть проектное решение использования центробежных насосов в качестве альтернативы поршневым, выделить его достоинства и недостатки.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Использование центробежных насосов предпочтительно по нескольким причинам: они просты в монтаже и обслуживании, контроль за их работой можно легко автоматизировать и проводить дистанционно, обеспечивают равномерную подачу жидкости. Кроме того, имеют малые габариты, что является существенным достоинством при строительстве насосных станций в сложных климатических условиях. Наибольшее распространение для нагнетания жидкости в пласт получили центробежные многоступенчатые секционные насосы с подачей до $1\,000\text{ м}^3/\text{с}$, при давлении 0,4 – 20 МПа. В зависимости от типоразмера их КПД изменяется от 44 до 80 % [7].

Одним из недостатков, в свете рассматриваемой проблемы, является снижение КПД центробежного насоса при отклонении от оптимальной подачи и выходе из рабочей зоны, рекомендуемой характеристикой насоса. При проектировании полигонов закачки стоков в пласт невозможно на начальном этапе установить приемистость скважин, поэтому при использовании насосных станций с центробежными насосами именно этот недостаток снижает эффективность работы всей системы. К сожалению, несмотря на то, что подход к проектированию насосных станций с поршневыми насосами и центробежными очень отличается, очень часто это не учтено на практике и плохая приемистость скважин вызывает проблемы при эксплуатации насосных станций с центробежными насосами. В этом случае насос может выходить за границы рабочей зоны и работать так некоторое время. Однако этот недостаток возможно устранить еще на этапе проектирования при применении правильной обвязки, приведенной на рисунке.

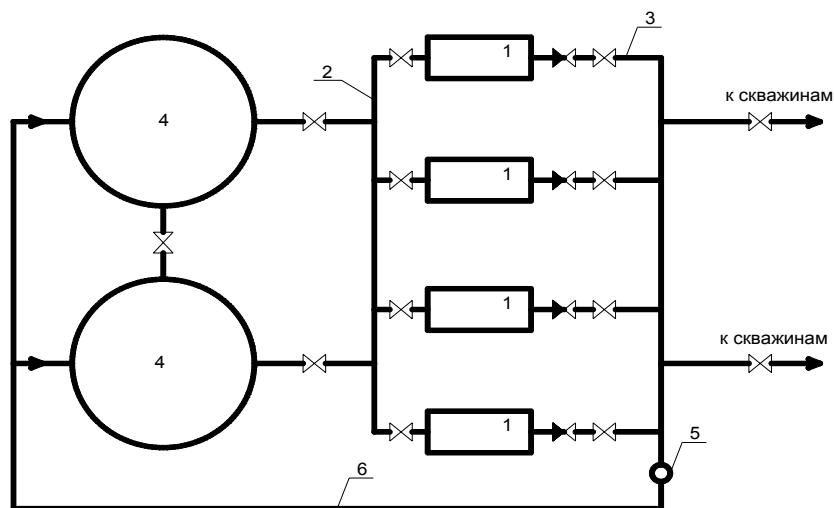


Рисунок – Общий принцип обвязки центробежных насосов при закачке стоков в пласт: 1 – центробежный насос; 2 – всасывающая линия; 3 – напорная линия; 4 – резервуар сточных вод; 5 – кран шаровый регулирующий; 6 – сбросная линия.

Эта схема хороша тем, что в случае необходимости позволяет возвращать минимальный расход насосной станции в резервуар по сбросной линии 6. Таким образом подача насоса всегда находится в рабочей зоне, независимо от того, какое количество стоков может принять скважина в данный момент. Т. е. при любой поглощающей способности скважины насосное оборудование работает с оптимальным КПД. Кран шаровый регулирующий 5 автоматизирован и подбирается по граничному давлению в системе, при котором насос остается в рабочей зоне. Когда давление превышает это значение, он открывается и понижает его. Еще одним достоинством данной обвязки является защита системы от гидроудара за счет своевременного открытия клапана при любых превышениях давления в системе. Еще более эффективной работы предлагаемой схемы обвязки можно добиться путем использования более чувствительной регулирующей арматуры.

Кроме того, такая обвязка позволяет легко производить пуско-наладочные работы и пробные включения насосов для проверки их исправности и готовности к работе.

Недостатком этого проектного решения можно выделить периодическую циркуляцию воды в системе в те моменты, когда приемистость пласта снижена или сведена к нулю, что может вызвать некоторое увеличение эксплуатационных затрат насосной станции.

ВЫВОД

Таким образом, при правильной обвязке насосов на этапе проектирования для закачки стоков в пласт можно применять центробежные насосы. Грамотный подход к компоновке элементов насосной станции позволит работать в режиме оптимального КПД даже при неравномерной подаче сточной жидкости. Правильное использование центробежных насосов при закачке стоков в пласт, при котором данная технология будет более экономична и энергоэффективна, позволит рассматривать ее для утилизации других видов сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анищенко, Л. В. Возможности закачки сточных вод в глубокие горизонты недр и совершенствование ее способов [Текст] / Л. В. Анищенко // Наука и современность. – 2015. – № 36. – С. 94–98.
2. Цыганков, А. П. Технический прогресс-химия-окружающая среда [Текст] / А. П. Цыганков, О. Ф. Балацкий, В. Н. Сенин. – Москва : Химия, 1979. – 295 с.
3. Аюпов, Е. Е. Закачка промышленных сточных вод на нефтяных и газовых месторождениях Западно-Казахстанской области [Текст] / Е. Е. Аюпов, Л. Ж. Мусакаева // International scientific review. – 2016. – №5(15). – С. 12–14.
4. Болтыров, В. Б. Подземное захоронение жидких промышленных отходов как технология обеспечения экологической безопасности территорий Уральского региона [Текст] / В. Б. Болтыров, О. А. Медведев // Технологии гражданской безопасности. – 2010. – № 4. – С. 98–101.
5. Ощепков, Д. В. Исследование проблем поршневых насосов [Текст] / Д. В. Ощепков // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2011. – № 5–2. – С. 73–77.
6. Intelligent pressure management by pumps as turbines in water distribution systems: results of experimentation [Текст] / S. Parra, S. Krause, F. Krönlein [et. al.] // Water Supply. – 2018. – № 18(3). – Р. 778–789.
7. Арбузов, В. Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин [Текст] : учебное пособие, часть 1 / В. Н. Арбузов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 200 с.

Получена 12.10.2020

О. С. ПАВЛЮЧЕНКО^a, Н. І. ГРИГОРЕНКО^b
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ПРОЕКТУВАННІ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ
ЗАКАЧУВАННЯ СТОКІВ В ПЛАСТ
^a АТ «ЮЖНІГПРОГАЗ», ^b ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва
і архітектури»

Анотація. Питання утилізації промислових стоків часто вимагає громіздкого і дорогого рішення. Альтернативним варіантом при дотриманні всіх норм безпеки може служити їх поховання в пласт. Знешкодження стічних вод таким шляхом використовується при видобутку газу і нафти, проте для того, щоб перейняти цей досвід для інших галузей промисловості, необхідно розглянути деякі недостатньо вивчені моменти. Стаття присвячена питанню вибору обладнання насосних станцій при закачуванні виробничих стічних вод в пласт. Запропоновано варіант заміни поршневих насосів на багатоступінчасті відцентрові насоси в умовах переривчастої подачі і великих напорів. Розглянуто загальну схему об'язки насосів і обладнання, а також переваги і недоліки даного проектного рішення.

Ключові слова: поховання стічних вод, відцентровий насос, поршневий насос, об'язка насосів.

ALEKSANDR PAVLUCHENKO ^a, NADEZHDA GRIGORENKO ^b
MODERN TRENDS IN THE DESIGN OF PUMPING STATIONS FOR
WASTEWATER INJECTION IN THE DEEP LAYER

^a PJSC «YUZHNIIGIPROGAZ», ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The issue of disposal of industrial effluents often requires an expensive solution. An alternative option, subject to all safety standards, is their disposal in the deep layer. This way is used in the extraction of gas and oil, however, in order to learn from this experience for other industries, it is necessary to consider some understudied points. The article is devoted to the issue of choosing equipment for pumping stations when industrial wastewater inject into the layer. A variant of replacing piston pumps with multistage centrifugal pumps under conditions of intermittent flow and high heads is proposed. The general scheme of pump manifold and equipment and the advantages and disadvantages of this design solution are considered.

Key words: wastewater disposal, centrifugal pump, piston pump, pump manifold.

Павлюченко Александр Сергеевич – инженер-проектировщик I категории АО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ». Научные интересы: проектирование систем водоснабжения и водоотведения, насосных станций, очистка сточных вод.

Григоренко Надежда Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охрана водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование систем водоотведения, очистка сточных вод.

Павлюченко Олександр Сергійович – інженер-проектувальник I категорії АТ «ЮЖНИИГИПРОГАЗ». Наукові інтереси: проектування систем водопостачання і водовідведення, насосних станцій, очищення стічних вод

Григоренко Надія Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування систем водовідведення, очищення стічних вод.

Pavluchenko Aleksandr – Design Engineer Grade I at PJSC «YUZHNIIGIPROGAZ». Scientific interests: design of water supply and water disposal systems, design of pump station, wastewater treatment.

Grigorenko Nadezhda – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of water disposal systems, wastewater treatment.

УДК 628.85

З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВИЧ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА В КОНТАКТНЫХ АППАРАТАХ

Аннотация. В статье проведен анализ существующих методов определения коэффициента теплоотдачи при конвективном теплообмене в аппаратах контактного типа с промежуточным теплоносителем. Определено, что в настоящее время опытное определение коэффициента α теплоотдачи производят, как правило, не на самих образцах тепловых устройств, а на их упрощенных моделях, обобщая, используя тепловую теорию подобия. В свою очередь критерии подобия составляются на основании дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, т. е. уравнений, которые дают аналитическую зависимость между параметрами, характеризующими процесс теплоотдачи в дифференциальной форме. Однако аналитические зависимости, полученные на основе эмпирических данных, затрудняют перспективу комплексного моделирования параметров, характеризующих процессы теплообмена, а также конструктивных характеристик контактных теплообменных аппаратов, в том числе, с использованием промежуточного теплоносителя, для повышения эффективности их работы. Выявлено, что расчет теплообмена в контактных аппаратах для утилизации низкопотенциальных тепловых выбросов, наряду с очисткой газовых выбросов от различных примесей, как правило, производится на основе опытных данных.

Ключевые слова: коэффициент теплоотдачи, контактный аппарат, утилизация теплоты, дымовые газы, низкопотенциальный источник теплоты, вторичные энергетические ресурсы.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время одним из основных актуальных вопросов человечества является поиск путей экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Одним из направлений в энергосбережении является использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) – утилизация низкопотенциальной теплоты. Как правило, низкопотенциальные ВЭР содержатся в коррозионноактивных загрязненных и запыленных жидкостях и газах, утилизировать теплоту от которых стандартными теплообменными аппаратами достаточно проблематично.

Глубокое использование теплоты отходящих газов в поверхностных теплообменниках в большинстве случаев технически неоправданно и экономически невыгодно вследствие их громоздкости и высокой стоимости. В связи с работой многих технологических агрегатов на природном газе, продукты сгорания которых не содержат твердых частиц и окислов серы, применяются более дешевые контактные теплообменники. Они обеспечивают глубокое охлаждение уходящих газов ниже точки росы, составляющей для продуктов сгорания 50...60 °C. При этом утилизируется не только физическое тепло уходящих газов, но и теплота конденсации содержащихся в них водяных паров.

Эффективно обеспечить утилизацию теплоты и экономию топливно-энергетических ресурсов можно с помощью устройств на основе теплопередающих элементов, обеспечивающих очистку от пыли. В связи с этим, наряду с совершенствованием применяемых на заводах систем улавливания вредных веществ, необходима разработка принципиально новых тепломассообменных аппаратов и технологических процессов, обеспечивающих утилизацию теплоты и уловленных продуктов при минимальных расходах электроэнергии и ассимилирующей жидкости.

Решением этих вопросов является защита конвективной теплоиспользующей поверхности нагрева от налипаний пыли гравитационно стекающим промежуточным пленочным пылепоглощающим теплоносителем.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проанализировать существующие методы расчета теплообмена в аппаратах контактного типа, в том числе с использованием промежуточного теплоносителя, для комплексного моделирования параметров, характеризующих процессы теплообмена, а также конструктивных характеристик контактных теплообменных аппаратов для повышения эффективности их работы.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Тепломассообменные аппараты с пленочным течением жидкости находят широкое применение в различных технологиях, в частности, в системах тепловлажностной обработки воздуха (испарение или конденсация, абсорбция или десорбция и т. д.). В теории конденсации и конвективного теплообмена на начальном участке в случае ламинарного стекания жидкости в виде пленок процессы теплообмена между пленкой и стенкой изучены достаточно хорошо [1–4]. Во всех рассматриваемых работах, в том числе и классических [5], принимается, что осуществляется нагревание жидкостной пленки стенкой, температура жидкости на входе постоянна по всему поперечному сечению пленки, температура стенки не зависит от длины пробега, теплота передается только теплопроводностью перпендикулярно от стенки к пленке и тепловые потери от наружной поверхности пленки пренебрежимо малы.

В общем случае полное описание процессов тепломассообмена в контактных теплообменниках реализуется с помощью системы дифференциальных уравнений: уравнения движения, уравнения неразрывности, уравнения сохранения энергии, уравнения сохранения массы вещества, уравнения теплопроводности в разделяющих стенках. Решением системы этих уравнений можно получить необходимые значения параметров теплоносителей. Однако разработка методов по их решению связана не только с трудностями математического характера, но и со спецификой процессов тепломассообмена. Из-за сложности такой метод не имеет широкого применения.

Упрощение вышеупомянутых дифференциальных уравнений достигается математическим описанием процессов тепломассообмена на основе уравнений пограничного слоя [6, 7].

В тонком слое жидкости (газа), который образуется у поверхности, градиенты параметров и скоростей значительно выше, чем в остальном потоке. Недостаток данной модели ограничивается простой геометрией теплообменных поверхностей.

В настоящее время отсутствуют чисто аналитические методы расчета теплообмена в контактных аппаратах. Для математического описания процессов необходимо предварительное определение эмпирических зависимостей экспериментальным путем [8].

В турбулентной области течения пленки ($Re > Re_{kp}$) теплота от орошающей жидкости к стенке передается как молекулярной теплопроводностью, так и в значительной степени путем перемешивания пленки под действием волн.

Теоретический анализ этих процессов произведен Дж. Л. Локшином [9] с помощью операционного метода по переменной

$$A = \frac{\theta_{(x,t)}}{Pe \cdot (1 - Ge)^2}, \quad (1)$$

где $\theta_{(x,t)} = \frac{T_{x,t} - T_o}{T_{cm} - T_o}$ – безразмерная температура;

Pe – число Пекле (соотношение молекулярного и конвективного переноса теплоты в потоке);

Ge – число Гальперина (соотношение сил трения на границе пленки с газовым потоком и массовых сил).

Показано, что в случае небольших значений величины $Pe \cdot (1 - Ge)^2$, т. е. в большинстве случаев, встречающихся на практике, теплообмен протекает настолько быстро, что безразмерная температура практически равна единице по всей толщине пленки и процесс теплообмена должен рассчитываться, исходя из потоковых условий.

В работе [10] подтвержден тот факт, что основное термическое сопротивление, определяющее интенсивность теплообмена, сосредоточено в газовой фазе. Так при температуре газа 150 °C и начальной температуре жидкости 10...20 °C температура на поверхности пленки отличается от температуры в ядре потока всего на 1...3 °C.

Экспериментальные исследования профиля температур в поперечном сечении пленок воды и водных растворов хлористого натрия в области высоких плотностей орошения ($1300 \leq Re \leq 17\,000$),

обычно имеющих место в промышленных аппаратах, показали [11], что имеют место две характерные области: пристенный слой пленки и основная область с приблизительно одинаковой температурой. Толщина пристенного пограничного слоя незначительна (до 0,06 мм) и уменьшается с возрастанием значения числа Рейнольдса. Более поздние измерения профилей температур усовершенствованным методом подтвердили вышеуказанное распределение температур в поперечном сечении нагреваемой пленки.

При интенсивном волновом течении пленки жидкости перемешивающее воздействие волн настолько велико, что теоретическое сопротивление теплоотдаче на границе пленки с твердой поверхностью стремится к нулю.

Аналогичные результаты были получены Т. Сексаузером [12], который исследовал теплоотдачу к орошающей пленке воды в области $3 \cdot 200 < Re < 16 \cdot 000$ на вертикальных трубах длиной 2,6 м. Результаты этих опытов для стальных труб были представлены в следующем виде:

$$\frac{\alpha}{\lambda} \cdot z = 68,5 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,15} \left(\frac{z}{z_o} \right)^{0,935}, \quad (2)$$

где z – длина орошаемой трубы;
 $z_o = 1$ м – относительная длина.

Таким образом, при значениях числа Рейнольдса более 3 000 и достаточно длинных орошаемых поверхностях ($z > 1$ м) для инженерных расчетов можно пренебречь термическим сопротивлением теплопроводности пленки и теплоотдачи на ее границе с поверхностью орошаемой трубы.

Окончательно формула для определения коэффициента теплопередачи от дымовых газов к нагреваемой воде, движущейся в трубках теплообменного аппарата при применении стекающего по наружной поверхности труб промежуточного теплоносителя, примет вид:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{нак}}, \quad (3)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от газов к жидкой пленке, Вт/(м²·К);
 α_2 – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности трубы к нагреваемой воде, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплоотдачи от газов к жидкой пленке определяется в соответствии с известными методиками по аналогии с поперечным омыванием шахматных или коридорных гладкотрубных пучков. Учитывая более интенсивный теплообмен между газами и наружной поверхностью пленочного теплоносителя за счет изменения характера конвективной теплоотдачи, связанного с влиянием особенностей волнообразования при увеличении значения числа Рейнольдса, согласно исследованиям В. Вильке [13], расчетное значение коэффициента теплоотдачи увеличивается на 50 %.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде определяется по эмпирической формуле:

$$\alpha_2 = (1628 + 21 \cdot t_{н.в.} - 0,041 \cdot t_{н.в.}^2) \cdot \frac{W_{н.в.}^{0,8}}{d^{0,2}}, \quad (4)$$

где $t_{н.в.}$ – средняя температура нагреваемой воды, °C;
 $W_{н.в.}$ – скорость движения нагреваемой воды, м/с;
 d – внутренний диаметр труб, м.

Коэффициент теплоотдачи α – очень сложная величина, которой учитываются следующие факторы, обуславливающие протекание конвективного теплообмена [13–15]:

- характер движения жидкости или газа (ламинарное или турбулентное) и природа его возникновения;

- скорость движения жидкости или газа ω ;

- физические параметры жидкости или газа (коэффициент теплопроводности λ , вязкость μ , плотность ρ , теплоемкость C_p , коэффициент объемного расширения β , температура жидкости или газа и поверхности $t_{ж}$, t_c ; форма Φ и линейные размеры омываемой жидкостью или газом поверхности l_1 , l_2 , l_3).

Таким образом:

$$\alpha = f(\omega, \lambda, \mu, \rho, Cp, \beta, t_{\text{ж}}, t_c, \Phi, l_1, l_2, l_3).$$

Для определения величины α для различных случаев конвективного теплообмена предложено несколько эмпирических формул, имеющих, однако, ограниченную область применения.

Наиболее точно коэффициент теплоотдачи α можно определить опытным путем. Но этот способ определения α представляет собой нелегкую задачу, особенно для сложных и громоздких тепловых устройств. Но и проводя опыты, нельзя быть уверенным в том, что закономерности, найденные для данного теплового агрегата, окажутся справедливыми для другого аппарата, может быть, еще не построенного для непосредственного изучения.

ВЫВОДЫ

В настоящее время опытное определение коэффициента α теплоотдачи производят, как правило, не на самих образцах тепловых устройств, а на их упрощенных моделях, обобщают, используя тепловую теорию подобия.

В свою очередь критерии подобия составляются на основании дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, т. е. уравнений, которые дают аналитическую зависимость между параметрами, характеризующими процесс теплоотдачи в дифференциальной форме. В итоге в расчетах нет необходимости искать зависимость коэффициента теплоотдачи от каждого из тех факторов, которые на него влияют, а достаточно найти зависимость между определенными безразмерными комплексами величин, характерных для рассматриваемых условий процесса теплоотдачи.

Однако аналитические зависимости, полученные на основе эмпирических данных, затрудняют перспективу комплексного моделирования параметров, характеризующих процессы теплообмена, а также конструктивных характеристик контактных теплообменных аппаратов, в том числе с использованием промежуточного теплоносителя, для повышения эффективности их работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дас, Конеру Рамануджа. Экспериментальное исследование гидродинамики и теплоотдачи в стекающих пленках воды, водных растворов солей и поверхностно-активных веществ [Текст] : автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : 05.176 / Конеру Рамануджа Дас / Киевский политехн. ин-т им. 50-летия Великой Октябрьской соц. революции. – Киев : [б. и.], 1970. – 26 с.
2. Тананайко, Ю. М. Методы расчета и исследования пленочных процессов [Текст] / Ю. М. Тананайко, Е. Г. Воронцов. – Киев : Техника, 1975. – 312 с.
3. Strobel, W. J. The effect of surfactants on the flow characteristics of falling liquid films [Текст] / W. J. Strobel, Stephen Whitaker // AIChE. The Global Home of Chemical Engineering. – 1969. – № 15. – P. 4.
4. Величко, В. И. Интенсификации теплоотдачи и повышение энергетической эффективности конвективных поверхностей теплообмена [Текст] / В. И. Величко, В. А. Пронин. – М. : Изд-во МЭИ, 1999. – 64 с.
5. Черный, Г. Г. Газовая динамика [Текст] : учебник для университетов и вузов / Г. Г. Черный. – М. : Наука, 1988. – 424 с.
6. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг ; пер. с англ. – М. : Наука, 1974. – 712 с.
7. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена [Текст] / С. С. Кутателадзе ; изд. 5-е, перераб. и доп. – М. : Атомиздат, 1979. – 416 с.
8. Андреев, В. К. Линейные задачи конвективных движений с поверхностями раздела: [Текст] : монография / В. К. Андреев, Е. Н. Лемешкова. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2018. – 204 с.
9. Локшин, Дж. Л. Теплообмен в стекающей ламинарной пленке [Текст] / Дж. Л. Локшин // Вторая российская национальная конференция по теплообмену. – 1998. – Том 8. – С. 28–30.
10. Воронцов, Е. Г. Проблемы гидродинамики стекающих плёнок [Текст] / Е. Г. Воронцов // Инженерно-физический журнал. – 1993. – Т. 65, № 1. – С. 32–38.
11. Дорохов, А. Р. К расчету теплообмена при стекании тонких пленок жидкости по вертикальной поверхности [Текст] / А. Р. Дорохов, И. И. Гогонин // Изв. Сибирского Отделения АН СССР. Сер. Техн. Наук. – 1989. – № 5. – С. 15–20.
12. Sexauer, T. Der Wärmeübergang am senkrechtenen berieselten Rohr [Текст] / T. Sexauer // Forsch. Ing. Wes. – 1939. – Bd. 10, N 6. – P. 286–296.
13. Wilkes, J. O. The measurement of velocities in thin films of liquid [Текст] / J. O. Wilkes, R. M. Nedderman // Chem. Eng. Science. – 1962. – Vol. 17. – P. 177–187.
14. Павленко, А. Н. Теплообмен и кризисные явления в стекающих пленках жидкости при испарении и кипении [Текст] / А. Н. Павленко, Н. И. Печеркин, О. А. Володин ; под ред. В. Е. Накорякова. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2016. – 193 с.

15. Шиляев, М. И. Гидродинамика и тепломассообмен пленочных течений в полях массовых сил и их приложения [Текст] / М. И. Шиляев, А. В. Толстых. – М. : Инфра-М, 2014. – 198 с.

Получена 13.10.2020

З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВІЧ
МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООБМІНУ В КОНТАКТНИХ АПАРАТАХ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті проведено аналіз існуючих методів визначення коефіцієнта тепловіддачі при конвективному теплообміні в апаратах контактного типу з проміжним теплоносієм. Визначено, що на даний час дослідне визначення коефіцієнта α тепловіддачі проводять, як правило, не на самих зразках теплових пристрій, а на їх спрощених моделях, узагальнюють, використовуючи теплову теорію подібності. У свою чергу критерії подібності складаються на основі диференціальних рівнянь конвективного теплообміну, тобто рівнянь, які дають аналітичну залежність між параметрами, що характеризують процес тепловіддачі в диференціальній формі. Однак аналітичні залежності, отримані на основі емпіричних даних, ускладнюють перспективу комплексного моделювання параметрів, що характеризують процес теплообміну, а також конструктивних характеристик контактних теплообмінних апаратів, у тому числі з використанням проміжного теплоносія, для підвищення ефективності їх роботи. Виявлено, що розрахунок теплообміну в контактних апаратах для утилізації низькопотенційних теплових викидів, поряд з очищеннем газових викидів від різних домішок, як правило, проводиться на основі дослідних даних.

Ключові слова: коефіцієнт тепловіддачі, контактний апарат, утилізація теплоти, димові гази, низькопотенційне джерело теплоти, вторинні енергетичні ресурси.

ZLATA UDOVICHENKO, DARYA SAVICH
METHOD OF HEAT TRANSFER IN CONTACT DEVICES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article analyzes the existing methods for determining the heat transfer coefficient during convective heat exchange in contact-type devices with an intermediate heat carrier. It has been determined that at present the experimental determination of the heat transfer coefficient α is carried out, as a rule, not on the samples of thermal devices themselves, but on their simplified models, generalized using the thermal theory of similarity. In turn, similarity criteria are compiled on the basis of differential equations of convective heat transfer, i.e., equations that give an analytical relationship between the parameters characterizing the process of heat transfer in differential form. However, the analytical dependences obtained on the basis of empirical data complicate the prospect of complex modeling of the parameters characterizing the heat transfer processes, as well as the design characteristics of contact heat exchangers, including those with the use of an intermediate coolant, in order to increase their efficiency. It was revealed that the calculation of heat transfer in contact devices for the utilization of low-potential thermal emissions, along with the purification of gas emissions from various impurities, is usually carried out on the basis of experimental data.

Key words: thermal efficiency, contact device, heat utilization, dimov gas, low-potential heat source, secondary energy resources.

Удовиченко Злата Вікторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Савич Дар'я Владимировна – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Удовиченко Злата Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

Савіч Дар'я Володимирівна – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

Udovichenko Zlata – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heatsaving in systems of a heat – gassupply and ventilation.

Savich Darya – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heatsaving in systems of a heat-gassupply and ventilation.

УДК 697.92

Д. В. ВЫБОРНОВ, Б. В. КЛЯУС, А. В. ПЛУЖНИК
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРИТОЧНЫХ СТРУЙ

Аннотация. В данной статье был произведен анализ основных параметров формирования воздушных приточных струй. К данным параметрам относится изотермичность струйного течения, которая в свою очередь влияет на отклонение оси приточной струи относительно горизонта. Изотермичность приточной струи характеризуется критерием Архимеда, влияние на который оказывает разница температур окружающей среды и воздушной струи. Начальная скорость воздушной струи влияет на ее проникновение в глубь объема помещения, а также на настилание на поверхность ограждающей конструкции. Также важным параметром формообразования воздушной струи является воздухораспределительное устройство, с помощью которого воздушные струи истекают в обслуживаемое помещение. В зависимости от формы отверстий струи подразделяются на плоские, компактные, веерные и конические.

Ключевые слова: приточные струи, воздухораспределение, вентиляция, поверхность максимального параметра.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Поддержание благоприятных условий воздушной среды помещений при помощи системы вентиляции связано с улучшением условий труда, обеспечением технологических и санитарно-гигиенических требований, в том числе с обоснованием экономических показателей производства, а также решением экологических проблем. Наиболее актуальной задачей является совершенствование распределения приточного воздуха. Нерациональное распределение воздуха увеличивает энергетические затраты [1].

Вентиляция является сложным комплексом взаимозависимых процессов, в результате которых в воздухе помещения формируются поля скоростей, температур и концентраций различных веществ.

Воздух в помещение подается в виде струй. С помощью этих струй можно обеспечить в определенных местах помещения заданные параметры воздушной среды, создать воздушные завесы, оказать активное влияние на циркуляцию воздуха. Кроме вентиляционных струй, на процесс переноса теплоты, газов, паров и пыли влияют и тепловые струи, возникающие у нагретых и охлажденных поверхностей.

Характерной особенностью струйных течений является то, что вблизи поверхности раздела, где возникают так называемые поверхности тангенциального разрыва, велики градиенты скоростей, температур, параметров торможения, тогда как распределение статического давления оказывается непрерывным [2].

Исследованиями в области воздухораспределения занимались такие ученые как Г. Н. Абрамович, Ю. А. Аникин, И. С. Ануфриев, В. В. Батурина, Я. А. Гусенцова, М. М. Заборов, Д. В. Красинский, В. В. Саломатов, О. В. Шарыпов, И. А. Шелепев, Х. Энхжаргал, Shyam S. Dasa, M. Abdollahzadeha, Jose C. Pascoaa, A. Dumasb, M. Trancossib, Valeriu Dragan, Michele Trancossi, Antonio Dumas, Shyam Sumantha Das, Jose Pascoa, A. Dumitrache, F. Frunzulia, T. C. Ionescu, S. Cutbill.

ЦЕЛЬ

Анализ влияния параметров формирования приточных вентиляционных струй.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

К элементам свободной осесимметричной струи (рис. 1) включают диаметр выпускного отверстия d_o или ширину щели b_o , начальную скорость v_o и температуру t_o , текущие значения скорости их и температуры на расстоянии x от выпускного отверстия и угол β между направлением оси струи и линией, соединяющей точки, в которых скорость равна половине осевой скорости.

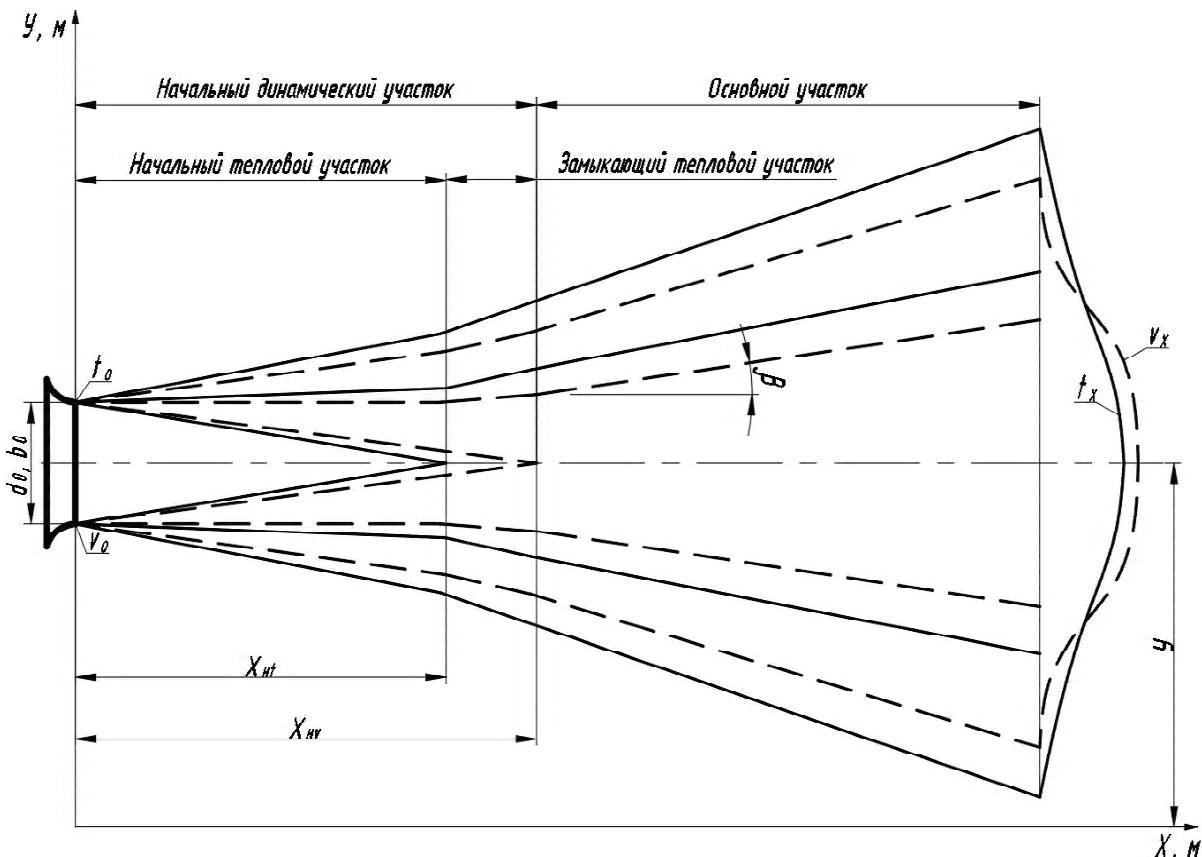


Рисунок 1 – Схема свободной осесимметричной изотермической струи, истекающей из открытого отверстия: b_o – ширина отверстия; d_o – диаметр отверстия; β – угол между направлением оси струи и линией, соединяющей точки, в которых скорость равна половине осевой скорости.

В качестве границ струи принимают линии, на которых скорость равна 5 % осевой скорости. С учетом этого полный угол расширения струи составляет $y = 4\beta$ [3].

Струи подразделяются на прямоточные и закрученные (рис. 2) [4]. К прямоточным относятся плоские, компактные, веерные и конические струи.

В струе выделяют условные поверхности максимальных параметров. Значения скоростей v_x , избыточной температуры Δt_x и избыточной концентрации вредных веществ $\Delta \sigma_x$ на поверхности максимальных параметров наибольшие и уменьшаются с увеличением расстояния от места выпуска струи x и ее сечений – от центра к периферии.

Компактная струя образуется при выпуске воздуха из круглого или близкого к квадратному отверстия, ее поверхность максимальных параметров является геометрической осью струи. Плоская струя образуется при выпуске воздуха из вытянутого прямоугольного отверстия, при этом поверхность максимального параметра совпадает с плоской симметрией струи [3].

В струе различают два участка – начальный динамический и основной. В начальном динамическом участке скорость потока во всех точках сечения одинакова и равна скорости в выходном сечении v_o .

На структуру струи оказывает влияние начальная турбулентность. Чем выше турбулентность струи перед выходом из отверстия, тем интенсивнее перемешивание струи с окружающим воздухом и тем больше угол расширения струи β на начальном участке, вследствие чего длина начального

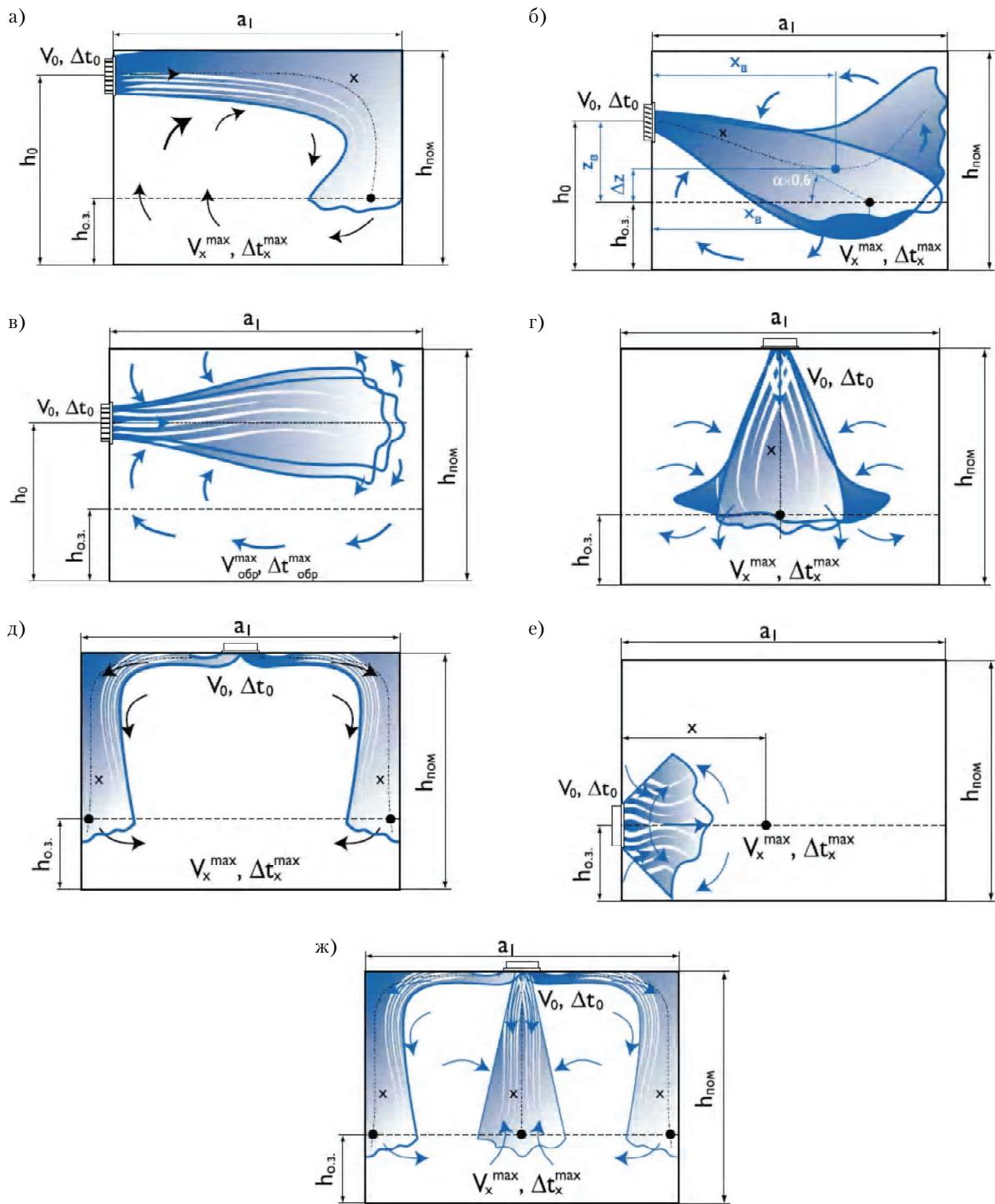


Рисунок 2 – Разновидности струйных течений: а) сверху-вниз (настилающиеся на потолок струи); б) сверху-вниз (наклонные струи); в) горизонтальные струи выше рабочей зоны при формировании обратного потока в обслуживаемой зоне; г) сверху вниз (конические и неполные веерные струи); д) сверху вниз (настилающиеся на потолок веерные струи); е) в обслуживаемую зону быстрозатухающие потоки; ж) сверху вниз (комбинированные струи).

участка становится короче. Соответственно при снижении турбулентности струи уменьшается угол расширения струи β , а длина начального участка становится длиннее.

В основном участке благодаря турбулентному перемешиванию с окружающим воздухом масса приточной струи по мере удаления от приточного отверстия возрастает, а скорость в ней непрерывно уменьшается как на оси струи, так и в периферийной части.

Свободная струя практически не зависит от критерия Рейнольдса (Re) (струи автомодельны). Одним из основных свойств турбулентной свободной струи является сохранение постоянства количества движения по её длине

$$m \cdot v = const, \quad (1)$$

где m – масса приточной струи в ее поперечном сечении, кг;
 v – скорость воздуха в поперечном сечении приточной струи, м/с.

Это позволяет перемещать большие массы воздуха на значительные расстояния, что широко используется в вентиляционной практике.

Известно, что свободная струя, выходящая из прямоугольного отверстия, деформируется, принимая в сечении форму, приближающуюся к кругу.

Плоскую струю на расстоянии $x > 6 \cdot l_o$, где l_o – размер большей стороны прямоугольного отверстия, принято рассчитывать, как компактную.

Коническая струя образуется в результате выпуска воздуха радиально через радиальное кольцевое отверстие под острым углом к геометрической оси конуса. Коническая поверхность, расположенная в центре струи, представляет поверхность максимальных параметров.

Веерная струя является частным случаем конической, когда угол выпуска струи относительно оси конуса равен 90° . Веерная струя, как и коническая, может быть полной и неполной [3].

Прямоточная струя, истекающая вблизи ограждения, настилается на него и образует настилающуюся струю. У такой струи поверхность максимальных параметров почти совпадает с плоскостью ограждения.

Закрученная струя образуется при движении воздуха через закру치вающие устройства или при тангенциальном подводе воздуха к воздухораспределителю. Форма струи получается веерная или коническая: при этом поверхность максимальных параметров представляет собой сложную поверхность и поверхность максимальной скорости может не совпадать с поверхностью максимальной избыточной температуры, а также концентрации. Закрученная струя с увеличением расстояния от источника трансформируется в прямоточную с большей площадью поперечного сечения.

Различают струи свободные, на которые не влияют ограничивающие плоскости и соседние струи, а также стесненные, испытывающие тормозящее влияние обратных, индуцированных основной струей потоков. В свободных струях выделяют начальный участок, в котором сохраняются максимальные начальные параметры на оси струи, и основной участок, в котором значения параметров ниже начальных.

Взаимодействие свободных параллельных однона правленных струй учитывают коэффициентом взаимодействия k_c . При этом значения параметров воздуха в общей струе больше по сравнению с параметрами отдельной струи.

В стесненной струе, выпускаемой в помещение, выделяют первое и второе критические сечения, площадь которых достигает соответственно 25 % и более и 40 % площади поперечного сечения помещения. Развитие стесненной струи учитывают коэффициентом стеснения k_c . Значения скоростей уменьшаются, и, начиная со второго критического сечения, струя затухает. На участке от первого до второго критического сечения избыточная температура падает меньше, а после второго остается постоянной. При равномерном распределении в помещении выпускных отверстий, создающих однона правленные струи, подпитываемые обратными потоками, для расчета применяют коэффициент k_c и не учитывают k_c .

Изотермические условия характеризуются одинаковыми температурами струи и воздуха помещения. На струю действуют только инерционные силы. В неизотермических условиях струя развивается под влиянием инерционных и гравитационных сил, обусловленных разностью плотностей воздуха струи и помещения. Холодная струя, выпущенная горизонтально, опускается вниз, а нагретая – поднимается вверх. Вертикально выпущенная струя может затормозиться на расстоянии x_{max} и изменить направление движения на обратное. Вертикальная струя, направленная вверх, застилающаяся на поверхность окна или стены, продолжает движение, настилаясь на потолок, и при охлаждении отрывается от потолка на расстоянии x_{omp} . Траекторию струи и значения ее параметров рассчитывают с учетом коэффициента неизотермичности k_n .

Плоские струи находят применение в технике, поскольку сопла прямоугольной формы рассматриваются как перспективные в ряде устройств. Так, в системах вентиляционных установок их применение может обеспечить наилучшую компоновку в обслуживаемом помещении [5].

К основным характеристикам свободной изотермической струи относятся: угол расширения, импульс, скоростной профиль струи.

В справочнике Американского общества инженеров по вентиляции, охлаждению и обогреву отмечено, о расширении воздушной струи, величина которой в свою очередь меняется в пределах от 20° до 24°, при среднем значении – 22°. На угол расширения струи влияет форма и количество отверстий, а также геометрия помещения. Угол расширения можно искусственно увеличить с помощью насадки с лопатками или другого воздухораспределителя, однако на сравнительно коротком расстоянии от отверстия воздушный поток все равно превращается в струи указанного выше типа с углом расширения 20...24°.

При подаче воздушного потока в помещение рассматривается столкновение приточного и внутреннего воздуха характеризующееся импульсом воздушной струи. Поскольку давление в свободной изотермической струе остается постоянным и равно давлению окружающего воздуха, импульс остается одинаковым по всей длине струи. Следовательно, импульс в вентиляционном отверстии равен импульсу в любом поперечном сечении струи.

Исходя из закона сохранения импульса, можно вывести формулу для скорости воздушной струи. В зависимости от формы потока она будет иметь следующее математическое представление.

Осесимметричная или веерная воздушная струя характеризуется выражением [6]

$$\frac{v_x}{v_0} = K \cdot \frac{\sqrt{A_{\phi}}}{x}, \quad (2)$$

где K – выпускной коэффициент, значение которого определяется геометрией выпускного отверстия;

x – расстояние от отверстия, м;

v_x – осевая скорость струи на расстоянии x от отверстия м/с;

v_0 – скорость у вентиляционного отверстия, м/с;

A_{ϕ} – эффективная площадь вентиляционного отверстия, м^2 ;

$$A_{\phi} = \frac{L}{v_0}, \quad \text{м}^2, \quad (3)$$

где L – объемный расход воздуха через отверстие, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Плоская струя. Для формирования плоской воздушной струи отношение длины и высоты щелевого отверстия должно быть больше 10 [6]

$$\frac{v_x}{v_0} = K \cdot \frac{\sqrt{h}}{x}, \quad (4)$$

где h – высота щели, м.

При этом распределение скоростей в поперечном сечении струи описывается эмпирической формулой [6]

$$\frac{v}{v_x} = \left[1 - \left(\frac{y}{0,3-x} \right)^{1,5} \right]^2, \quad (5)$$

где y – расстояние до оси воздушной струи, м;

v – скорость воздушной струи на расстоянии y от оси в плоскости, находящейся на расстоянии x от отверстия, м/с.

Эта формула позволяет отобразить изовелы скоростей, то есть совокупность точек воздушной струи, имеющих одинаковую скорость.

Температура воздуха, поступающего в помещение, может быть равна температуре окружающей среды или отличаться от нее.

Если температура воздуха, вытекающего из отверстия в неограниченное пространство, отличается от температуры в последнем, то параметры струи и траекторию ее движения, помимо сил инерции,

оказывают влияние гравитационные силы. Соотношение этих сил обычно определяется величиной критерия Архимеда Ar_0 в приточном отверстии [7, 8, 9].

$$Ar_0 = \frac{g \cdot l_0}{v_0^2} \cdot \frac{T_0 - T_{окр}}{T_{окр}}, \quad (6)$$

где $T_0, T_{окр}$ – абсолютная температура воздуха в плоскости сечения отверстия и окружающей среды, К;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l_0 – определяющий линейный размер, м, для осесимметричных отверстий принимают d_o , для прямоугольных d_{os} , для щелевых – наименьший размер b_o ;

$$d_{os} = 4 \cdot d_e = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a+b)} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b}, \text{ м}, \quad (7)$$

где d_e – гипотетический диаметр воздуховода круглого сечения, м;

a, b – геометрические размеры отверстия, м.

Наибольшее значение для расчётов воздухораспределения имеет поведение струи на основном участке. Осевая скорость непрерывно убывает, а профили скоростей в поперечных сечениях подобны.

Скорость в любой точке струи определяется в зависимости от расстояния x от места выпуска и расстояния y по формуле [10]

$$\frac{v_{xy}}{v_0} = \exp \left[-0,5 \cdot \left(\frac{y}{C \cdot x} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где C – эмпирический коэффициент, $C = 0,082$.

При $Ar > 0,001$ ось неизотермической струи заметно искривляется; при $t_n > t_e$ струя «всплывает» вверх, при $t_n < t_e$ струя, наоборот, опускается вниз. Изменение закономерностей движений приточных неизотермических струй по сравнению с изотермическими приводит к несколько иным закономерностям распределения температур в струе. Это учитывается коэффициентом неизотермичности струи k_u в следующих формулах [10]

$$\frac{v_x}{v_0} = m \cdot k_u \cdot \frac{d_o}{x}, \quad (9)$$

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_y} = n \cdot k_u \cdot \frac{d_o}{x}, \quad (10)$$

где Δt_x – избыточная температура на оси струи на расстоянии x от отверстия;

m – коэффициент затухания скорости в основном участке;

n – коэффициент затухания температуры, зависят от конструкции воздухораспределителя.

Искривленная ось траектории приточной неизотермической струи описывается уравнением [11]

$$\frac{y}{d_o} = \frac{0,5}{m} \cdot Ar \cdot \frac{x}{d_o}. \quad (11)$$

Существует эмпирическая формула для расчета отклонения траектории струи от первоначального направления y , характеризующая траекторию воздушной струи. Отклонение струи от первоначального направления пропорционально разнице температуры приточного воздуха и воздуха, находящегося в помещении.

На холодную настилающуюся струю действуют в вертикальной плоскости две силы. Уже знакомый нам эффект Коанда прижимает струю к потолку, а температурные воздействия отклоняют ее вниз. На определенном расстоянии от приточного отверстия температурное воздействие оказывается сильнее, и струя отрывается от потолка – точка отрыва струи.

Эмпирическая формула позволяет найти расстояние x_m между вентиляционным отверстием и точкой отрыва. В зависимости от формы струи она имеет следующий вид.

Коническая настилающаяся струя характеризуется формулой [6]

$$x_m = \frac{1,6 \cdot K \cdot v_o \cdot A_{\phi}}{A_{\phi}^{0,75} \cdot \sqrt{\Delta t_0}}. \quad (12)$$

Веерная настилающаяся струя характеризуется формулой [6]

$$x_m = \frac{3,5 \cdot K^{1,5} \cdot v_o \cdot A_{\phi}}{A_{\phi}^{0,75} \cdot \sqrt{\Delta t_0}}. \quad (13)$$

Траекторию струи после отрыва от потолка можно рассчитать по формуле для отклонения траектории от первоначального направления. При этом расстояние x в данной формуле измеряется от точки отрыва.

Нормируемые параметры воздуха в рабочей зоне могут обеспечить правильно подобранные воздухораспределители (рис. 3), характеристики которых приведены в таблице.

При кратностях воздухообмена до 10 ч⁻¹ рекомендуется совмещать вентиляцию с воздушным отоплением.

Высоту установки воздухораспределителей рекомендуется принимать для РР, НРБ, ВЭЦ, ВПЭП до 4 м, для РР, НРБ, ВГК, ВДУМ, ВДШ, ВПК, ВЦ, ВЭПв – 4...6 м, для ВГК, ВЭС – более 6 м от пола [3].

Таблица – Характеристики промышленных приточных воздухораспределителей

| Наименование воздухораспределительного устройства | Описание | Тип воздушных струй |
|--|--|---|
| Настенный воздухораспределитель типа ВГК (рис. 3а) | Обеспечивают сосредоточенную подачу воздуха в производственные и вспомогательные помещения, а также используются для душирования группы постоянных рабочих мест, исполнение с нижним и верхним подводом воздуха. Данный тип воздухораспределителя используется для подачи воздуха выше рабочей зоны. | Компактные струи |
| Эжекционный воздухораспределитель типа ВЭС (рис. 3б) | Применяется для сосредоточенной подачи воздуха из верхней в рабочую зону производственных помещений системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. | Закрученные и конические струи |
| Воздухораспределитель приколонный регулируемый веерного типа НРВ (рис. 3в) | Применяется для подачи воздуха в производственные помещения с установкой у колонн и стен на высоте 3...5 м от пола с системами отопления и вентиляции с возможностью сезонного регулирования угла наклона лопаток в горизонтальной плоскости (исполнение с верхним и нижним подводом воздуха). | Неполные веерные струи |
| Решетка воздухоприточная регулируемая типа РР (рис. 3г) | Применяется для подачи воздуха в помещения вспомогательных и общественных зданий системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. | Неполные веерные и компактные струи |
| Воздухораспределитель универсальный, модернизированный типа ВДУМ (рис. 3д) | Применяется для подачи воздуха в помещения производственных и административно-общественных зданий системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. | Веерные, конические струи и двухструйные потоки |
| Воздухораспределитель центробежный типа ВЦ | Применяется для подачи воздуха в производственные помещения горизонтально или вертикально. | Веерные струи |
| Воздухораспределитель эжекционный центробежный типа ВЭЦ | Применяется для подачи воздуха в верхнюю зону помещений с высоты 4 м и менее в промышленных и административно-общественных зданиях. | Веерные струи |
| Воздухораспределитель эжекционный потолочный типа ВЭПв | Применяется для подачи воздуха в направлении рабочей зоны производственных помещений сверху вниз с высоты 4 м и более. | Закрученные и конические струи |

Окончание таблицы

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Воздухораспределитель перфорированный круглый типа ВПК (рис. 3е) | Применяется для рассеянной подачи приточного воздуха в производственные помещения системами вентиляции и кондиционирования воздуха. | Двухструйные потоки |
| Воздухораспределитель пристенный эжекционный панельный типа ВПЭП (рис. 3ж) | Применяется для подачи воздуха в рабочую зону производственных помещений с избытками тепла и на любом уровне производственных, административно-общественных, лабораторных помещений без избытков тепла. | Закрученные струи и двухструйные потоки |
| Воздухораспределитель двухструйный шестиэжекционный прямоугольного сечения типа ВДШ (рис. 3з) | Применяется для подачи воздуха в помещения с повышенными требованиями к интерьеру системами вентиляции и кондиционирования воздуха. | Двухструйные потоки |

ВЫВОД

К основным параметрам формирования воздушных приточных струй относится:

- изотермичность струйного течения – влияет на отклонение оси приточной струи относительно горизонта. Изотермичность приточной струи характеризуется критерием Архимеда, влияние на который оказывает разница температур окружающей среды и воздушной струи;
- начальная скорость воздушной струи – влияет на ее проникновение в глубь объема помещения, а также на настилание на поверхность ограждающей конструкции;
- выбор воздухораспределительного устройства – в зависимости от формы отверстий струи подразделяются на плоские, компактные, веерные и конические.

Исследование вышеперечисленных параметров позволит совершенствовать распределение приточного воздуха. Рациональное распределение воздуха снижает энергетические затраты и увеличивает условия комфорта создаваемого микроклимата в рабочей зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, Б. С. Безопасность жизнедеятельности [Текст] : учебное пособие в 2 ч., ч. 1 / Б. С. Иванов, Е. А. Резчиков, С. П. Крылов. – М. : МГИУ, 2001. – 224 с.
2. Харченко, П. М. Воздушный режим помещения [Текст] / П. М. Харченко, В. П. Тимофеев // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике. – 2016. – № 1(7). – С. 234–235.
3. Торговников, Б. М. Проектирование промышленной вентиляции [Текст] : справочник / Б. М. Торговников, В. Е. Табачник, Е. М. Ефанов. – К. : «Будивельник», 1983. – 256 с.
4. Указания по расчету воздухораспределителей [Электронный ресурс] // Арктос-2008. – 2008. – 432 с. – Режим доступа : <http://www.arktika.ru/catalog/VozdRasUkazania-100210.pdf>.
5. Tsutsumi, S. Flow structure of under expanded jet injected from square nozzle [Текст] / S. Tsutsumi, S. Teramoto, K. Yamaguchi // ISABE-2003-1118. – June 2006. – AIAA Journal. – № 44(6). – Р. 1287–1291.
6. Теория вентиляции от компании SISTEMAIR [Электронный ресурс] // МИР КЛИМАТА. – [2020]. – № 8. – Режим доступа : www.osnova.od.ua/library/vent-info42.php.
7. Дроздов, В. Ф. Отопление и вентиляция [Текст] : в 2 частях, ч. II Вентиляция / В. Ф. Дроздов. – М. : «Высшая школа», – 1984. – 264 с.
8. Бутаков, С. Е. Аэродинамика систем промышленной вентиляции [Текст] / С. Е. Бутаков, д-р техн. наук проф.; ВЦСПС. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т охраны труда. – Москва : [изд-во и 1-я тип. Профиздата], 1949. – 271 с.
9. Максимов, Г. А. Движение воздуха при работе систем вентиляции и отопления [Текст] / Г. А. Максимов, В. В. Дерюгин. – Ленинград : Издательство литературы по строительству, 1972. – 97 с.
10. Расщепкин, А. Н. Основы теории кондиционирования воздуха [Текст] : учебное пособие / А. Н. Расщепкин, Л. М. Архипова. – Кемерово : КемТИПП, 2006. – 88 с.
11. Рябова, Е. А. Движение неизотермической плоской струи в помещении при инфильтрации воздуха через светопрозрачное ограждение [Электронный ресурс] / Е. А. Рябова // Строительство и техногенная безопасность. – 2013. – № 48. – С. 160–165. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/dvizhenie-neizotermicheskoy-ploskoy-strui-v-pomeschenii-pri-infiltratsii-vozduha-cherez-svetoprozrachnoe-ograzhdenie>.

Получена 14.10.2020



Рисунок 3 – Современные типы промышленных воздухораспределителей: а) настенный воздухораспределитель типа ВГК; б) эжекционный воздухораспределитель типа ВЭС; в) воздухораспределитель приколонный регулируемый веерного типа НРВ; г) решетка воздухоприточная регулируемая типа РР; д) воздухораспределитель универсальный, модернизированный типа ВДУМ; е) воздухораспределитель перфорированный круглый типа ВПК; ж) воздухораспределитель пристенный эжекционный панельный типа ВПЭП; з) воздухораспределитель двухструйный шестираффузорный прямоугольного сечения типа ВДШ.

Д. В. ВИБОРНОВ, Б. В. КЛЯУС, А. В. ПЛУЖНИК
АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ФОРМУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ
ПРИПЛИВНИХ СТРУМЕНІВ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У даній статті був проведений аналіз основних параметрів формування повітряних припливних струменів. До даних параметрів відноситься ізотермічність струменевої течії, яка в свою чергу впливає на відхилення осі припливного струменя відносно горизонту. Ізотермічність припливного струменя характеризується критерієм Архімеда, на який впливає різниця температур навколошнього середовища і повітряного струменя. Початкова швидкість повітряного струменя впливає на її проникнення в глибину об'єму приміщення, а також на настилання на поверхню огорожувальної конструкції. Також важливим параметром формоутворення повітряного струменя є конструкція повітродіального пристроя, за допомогою якого повітряні струмені витікають у приміщення, що обслуговується. Залежно від форми отворів струмені поділяються на плоскі, компактні, віялові і конічні.

Ключові слова: припливні струмені, розподіл повітря, вентиляція, поверхня максимального параметра.

DMITRY VYBORNOV, BOGDAN KLYAUS, ANASTASIA PLUZHNIK
ANALYSIS OF THE MAIN PARAMETERS OF THE FORMATION OF AIR SUPPLY
JETS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. This article analyzes the main parameters of the formation of air supply jets. These parameters include the isothermality of the jet flow, which in turn affects the deviation of the supply jet axis relative to the horizon. The isothermality of the supply jet is characterized by the Archimedes criterion, which is influenced by the temperature difference between the ambient and the air jet. The initial velocity of the air jet affects its penetration into the interior of the room, as well as its laying on the surface. Also, an important parameter of the formation of the air stream is the design of the air distribution device, with the help of which the air jets flow into the serviced room. Depending on the shape of the holes, the jets are divided into flat, compact, fan and conical.

Key words: supply jets, air distribution, ventilation, surface of maximum parameter.

Выборнов Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения, использование теплонасосных технологий.

Кляус Богдан Валентинович – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения.

Плужник Анастасия Вадимовна – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения.

Выборнов Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання, використання теплонасосних технологій.

Кляус Богдан Валентинович – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплогазопостачання.

Плужник Анастасія Вадимівна – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплогазопостачання.

Vybornov Dmitry – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heatsaving in systems of a heat supply with usage of heat pump technologies.

Klyaus Bogdan – Assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

Pluzhnik Anastasia – Assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

УДК 504:628.105

С. П. ВЫСОЦКИЙ^а, О. Л. ДАРИЕНКО^б

^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б Автомобильно-дорожный институт Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ПОГЛОТИТЕЛЯ ДИОКСИДА СЕРЫ ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Аннотация. Рассмотрены материальные потоки при сжигании на энергетических блоках твердого топлива. Показано, что альтернативным вариантом процесса десульфуризации дымовых газов может быть применение в качестве реагента-поглотителя диоксида серы сульфита натрия. Полученный продукт реакции – бисульфит натрия восстанавливается до сульфита в электродиализном аппарате с получением востребованного продукта – диоксида серы. На опытной электродиализной установке исследован процесс восстановления источенного поглотителя. Получены экспериментальные зависимости плотности тока от уровня напряжения, подведенного к электродиализной ячейке при разных температурах раствора. Показано, что дополнительное увеличение затрат электроэнергии на восстановление реагента – поглотителя составляет 4,5 % от мощности энергоблока при содержании серы в топливе 2 %.

Ключевые слова: электродиализ, плотность тока, сульфит натрия, диоксид серы, известняковая технология.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

С каждым годом в странах с развитой экономикой ужесточаются требования к охране окружающей среды. Одним из таких требований является соблюдение норм защиты поверхностных водных источников от загрязнений сточными водами. В отдельных странах действуют нормы нулевой эмиссии загрязнений [1]. Существует концепция превращения стоков в ресурсы, позволяющие производить из составляющих сточных вод полезные материалы. Примером может быть система обратно-осмотического обессоливания минерализованных вод, при которой рассол, обогащенный хлоридом натрия, используется в качестве сырья в хлорной промышленности для получения хлора и едкого натра [2–5].

Распределение капитальных и эксплуатационных затрат на различные технологии десульфуризации дымовых газов представлены на рисунке 1. Установки технологий, использующих метод Веллман-Лорд применяются примерно на 40 установках в США, Германии и Японии.

В мировой практике наиболее широко применяется технология мокрой известняковой десульфуризации дымовых газов [6]. Указанная технология обладает рядом преимуществ: высокая степень очистки газов, недефицитность, доступность и низкая стоимость реагента – известняка, простота утилизации основного продукта процесса – гипса и пр. На рис. 2 показана схема материальных потоков современного энергетического блока. Одним из крупных источников загрязнения поверхностных вод являются установки десульфуризации дымовых газов энергетических блоков ТЭС. Из приведенных данных видно, что только один энергетический блок является источником сбросов 3...5 м³/ч хлоридов концентрацией 50 г/дм³ и 7...15 м³/ч хлоридов концентрацией 10...20 г/дм³. Таким образом, при защите атмосферы от выбросов потенциально кислых соединений серы происходит значительное загрязнение поверхностных вод растворимыми соединениями хлоридов кальция, натрия и магния. Состав солей зависит, в первую очередь, от качества известняка, используемого в установках мокрой известняковой технологии десульфуризации. Как известно, растворимость солей в

дымовых газах весьма незначительна, а сорбируемые в частицах пыли-уноса или поступающие в установки десульфуризации количество указанных частиц и, соответственно, количество поглощаемых солей улавливаются вместе с пылью в электрофильтрах.

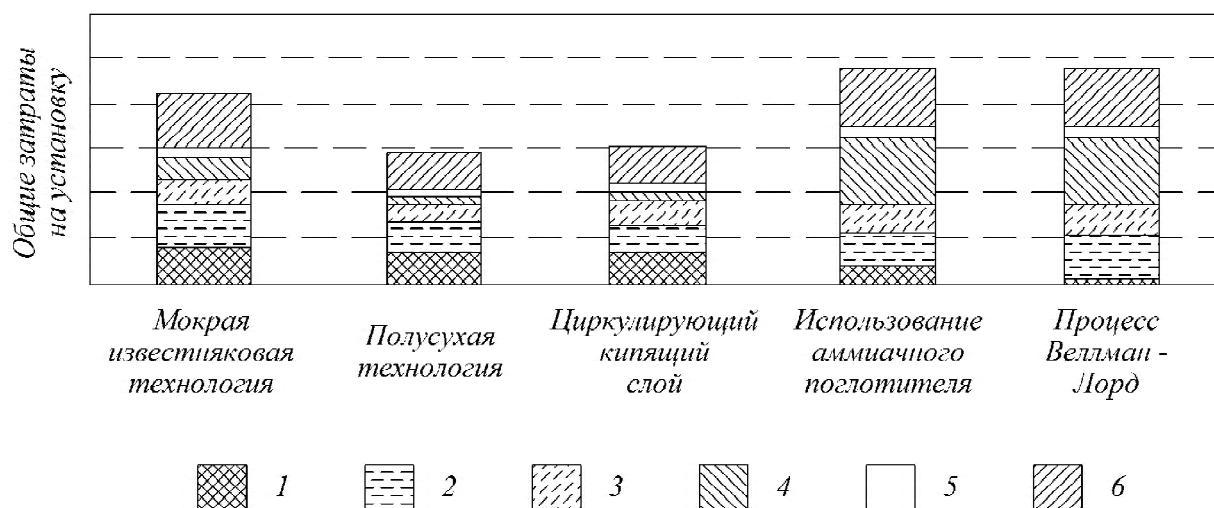


Рисунок 1 – Сравнительная характеристика затрат при различных технологиях десульфуризации дымовых газов ТЭС: 1 – затраты на реагенты и обращение с ними; 2 – удаление диоксида серы; 3 – предподготовка дымовых газов; 4 – обращение с отходами; 5 – основное и вспомогательное оборудование; 6 – разработка проекта и непредвиденные расходы.

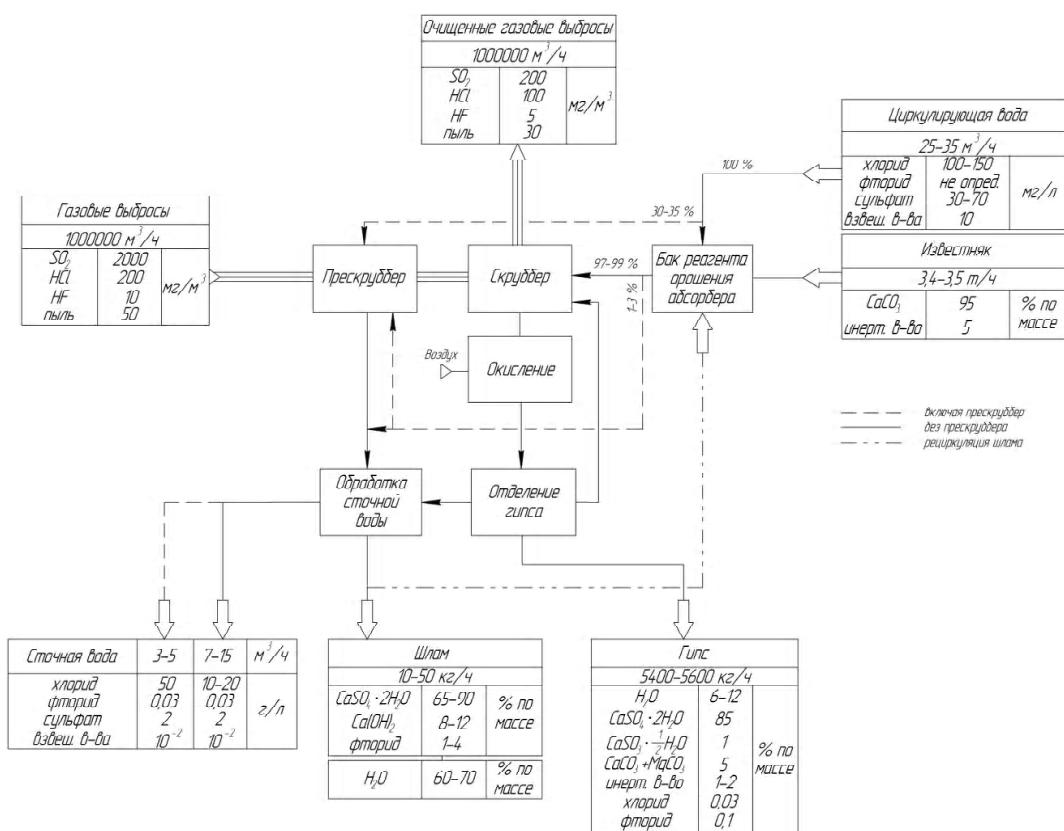


Рисунок 2 – Схема материальных потоков при очистке дымовых газов от диоксида серы мокрым известняковым методом.

Кроме загрязнения поверхностных вод, мокрая известняковая технология имеет ряд других недостатков: использование значительных объемов известняка, необходимость применения сложного реагентного хозяйства и мельниц для предварительной подготовки – размола известняка, дополнительное выделение парниковых газов при реакции связывания диоксида серы, необходимость применения сложного оборудования для извлечения из поглотительной суспензии продукта реакции – гипса и пр. Указанные недостатки рассматриваемой технологии ставят перед учеными и проектантами задачу поиска новых альтернативных путей решения вопроса очистки дымовых газов от диоксида серы.

Цель настоящего исследования заключается в разработке методов совершенствования технологий очистки дымовых газов тепловых электростанций от диоксида серы для улучшения технико-экономических показателей процесса и уменьшения неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Химическое связывание диоксида серы в современных установках обычно осуществляется в аппаратах – адсорберах. При использовании в качестве реагента известняка для осуществления реакции растворения известняка процесс осуществляют при уровне pH поглотительной суспензии от 3,7 до 4,2 [7]. Низкая реакционная способность реагента вызывает необходимость увеличения времени контакта поглотительной суспензии и газов, а также увеличения поверхности контакта. За счет этого увеличиваются объемы технологического оборудования и, соответственно, капитальные затраты.

В последние годы в мировой практике началось широкое применение электродиализной технологии для генерации кислоты и щелочи с использованием биполярных мембран. Для оценки технологических показателей электродиализной технологии рассмотрим материальные потоки топлива, серы и диоксида серы на тепловом энергетическом блоке 300 МВт, сжигающем угольное топливо. При коэффициенте полезного действия энергоблока $\eta = 0,33$ удельный расход условного топлива составит $B = 0,37 \text{ кг}/\text{kBt}\cdot\text{ч}$. Соответственно, фактический расход условного топлива

$$G = N \cdot \frac{0,123}{\eta} = 300\,000 \cdot 0,37 = 111\,000 \text{ кг}/\text{ч}.$$

Для реального топлива с теплотворной способностью $Q_n^p = 5\,000 \text{ ккал}/\text{кг}$ (20,93 МДж/кг) расход топлива составит 155 400 кг/ч. При содержании серы в топливе 2,0 % массовый расход серы составит 3 108 кг/ч и диоксида серы, если все составляющие включают: пиритную, сульфидную, органическую и элементарную серу – $G_{SO_2} = 6\,216 \text{ кг}/\text{ч}$, или 194,2 кг·экв/ч. При химическом связывании диоксида серы едким натром расход последнего в расчете на 100 %-й продукт составит 7 770 кг/ч.

При использовании электродиализных аппаратов с биполярными мембранными для получения щелочи на биполярных мембранных генерируется эквивалентное количество гидроксильных и водородных ионов. Для исключения сброса кислых стоков необходимо обеспечить равное количество эквивалентов используемых растворов кислоты и щелочи [8]. Относительно простой расчет баланса потоков кислоты для подкисления воды в циркуляционной системе и регенерации водород-катионитовых фильтров на установке подготовки подпиточной воды энергетического блока показывает, что расход кислоты на указанные нужды составляет 1,3...1,5 % от общей массы генерируемых реагентов.

При генерации в электродиализном аппарате кислоты и щелочи процесс последующего связывания диоксида серы должен быть реализован таким образом, чтобы обеспечить раздельное удаление из поглотителя диоксида серы. Подобная реакция возможна, если в качестве реагента – поглотителя будет использоваться сульфит натрия. Процесс поглощения диоксида серы происходит по схеме:



Реакция восстановления реагента – поглотителя в электродиализном аппарате протекает следующим образом:



Электродиализный аппарат для восстановления реагента – поглотителя показан на рисунке 3. Аппарат состоит из чередующихся биполярных и катионитовых мембран. В парных ячейках происходит восстановление – регенерация поглотителя по реакции (2). В нечетных ячейках (начиная с третьей) гидросульфит натрия превращается в сернистую кислоту по схеме:

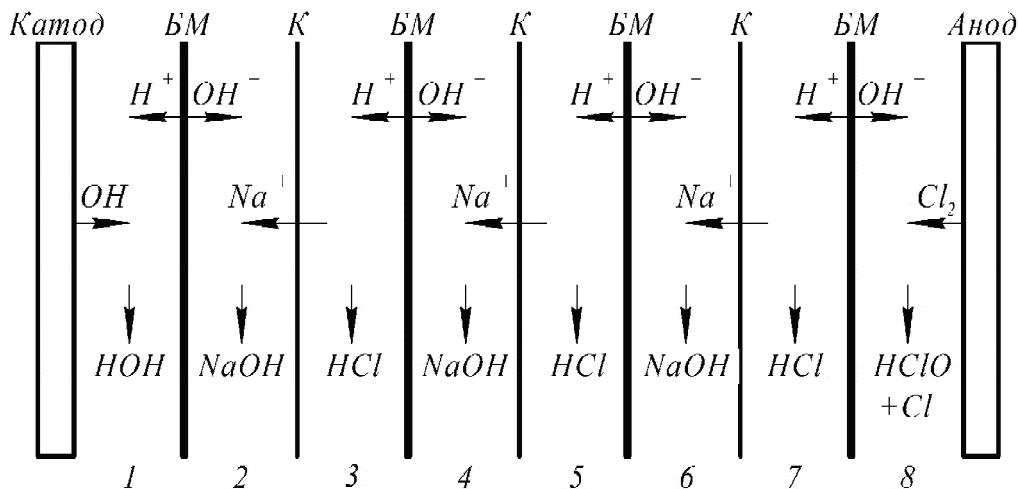


Рисунок 3 – Схема электродиализного аппарата для восстановления истощенного поглотителя диоксида серы.



Сернистая кислота является слабодиссоциированной кислотой и после электродиализного аппарата направляется на вакуумную десорбцию и компримирование. Общая схема процесса абсорбции диоксида серы с использованием в качестве сорбента сульфита натрия приведена на рисунке 4. На схеме не представлены потоки хлор-ионов, поскольку последние не добавляются в общие потоки реагентов.

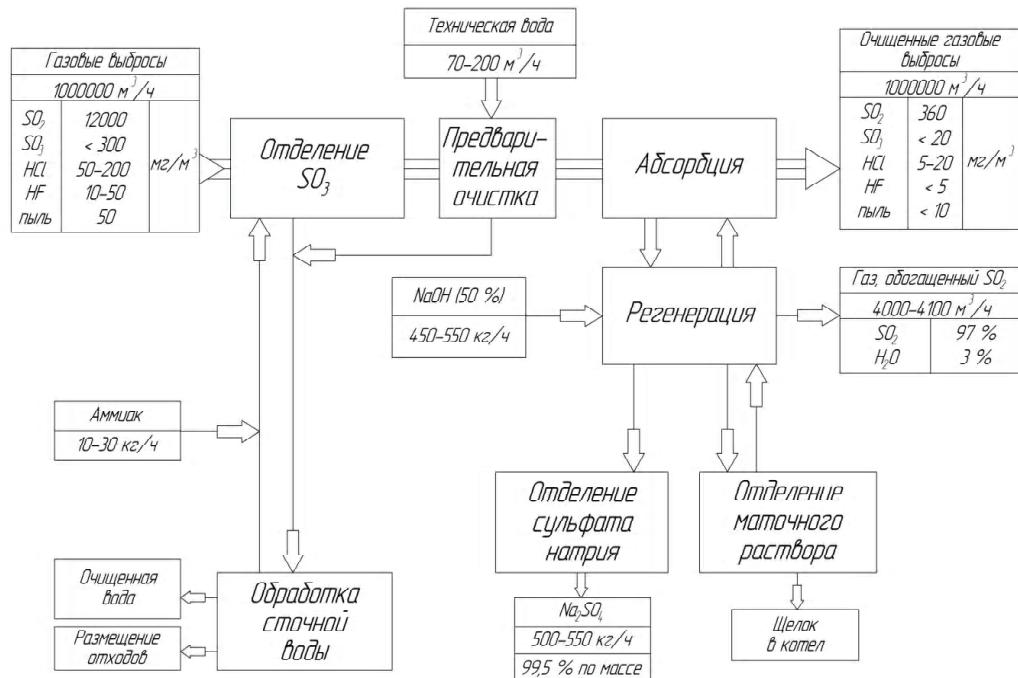


Рисунок 4 – Схема материальных потоков при очистке дымовых газов от диоксида серы сульфитом натрия.

Для определения физико-химических характеристик процесса электрохимической генерации кислоты и щелочи в электродиализном аппарате авторами выполнено исследование работы лабораторного электродиализного аппарата. Определены значения плотности тока при разных уровнях напряжения, подаваемого на ячейку.

На рисунке 5 показана зависимость плотности тока при разной температуре раствора от уровня электрического напряжения. Увеличение температуры раствора обеспечивает увеличение плотности тока при одинаковом уровне падения напряжения на ячейке. Основная доля падения напряжения приходится на биполярную мембрану.

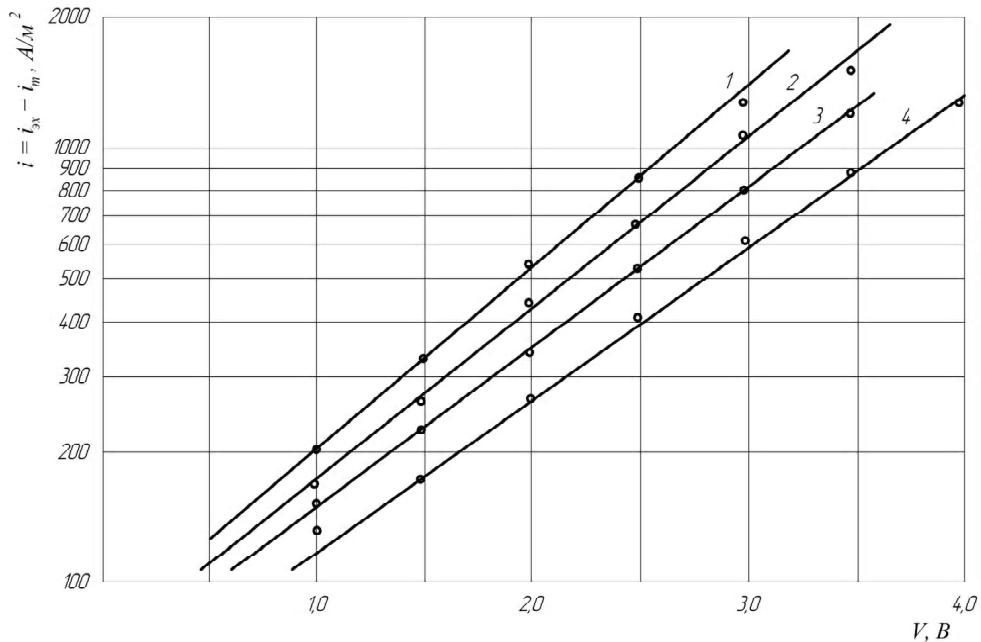


Рисунок 5 – Зависимость плотности тока в электродиализном аппарате от напряжения.

Рабочий раствор бисульфита натрия концентрацией 2 % под постоянным давлением из бака постоянного уровня подавался в четные и нечетные ячейки. Для оценки влияния температуры раствора на процесс электрохимической регенерации поглотителя выполнены опыты при температурах раствора 20, 30, 40 и 50 °С. В процессе экспериментов обнаружен разогрев восстанавливаемого раствора. Для учета влияния непроизводительного расхода электроэнергии из значений тока, подаваемого на ячейки, вычитались значения тока, расходуемого на разогрев раствора.

Полученные аналитические зависимости плотности тока при различных температурах воды приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Аналитические зависимости плотности тока от уровня напряжения при различных температурах раствора

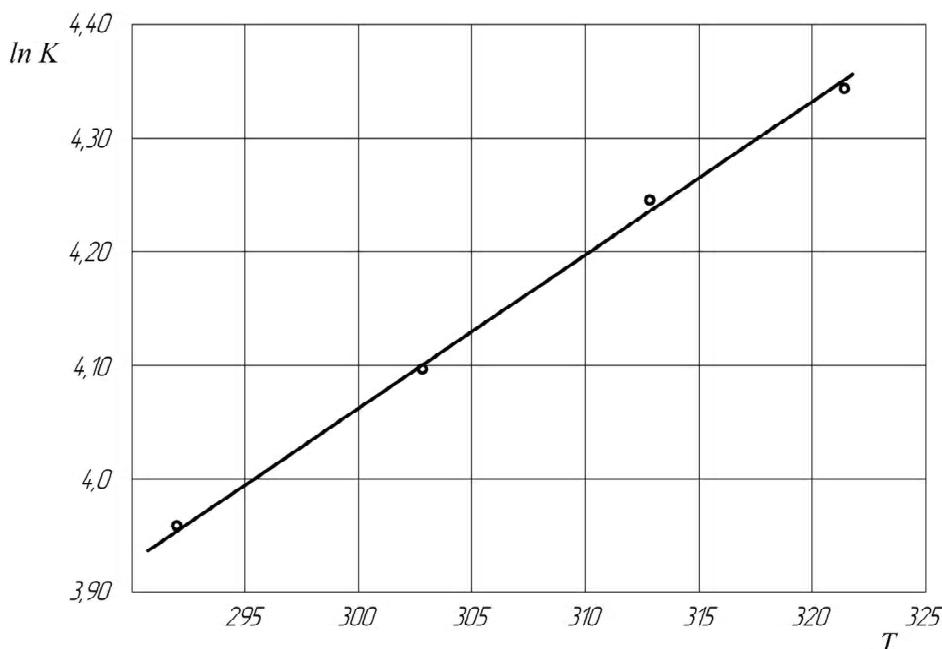
| № п/п | Температура раствора, °К | Аналитическая зависимость | № формулы |
|-------|--------------------------|----------------------------------|-----------|
| 1 | 323 | $i = 75,18 \cdot e^{0,97V} + 70$ | 4 |
| 2 | 313 | $i = 70,8 \cdot e^{0,90V} + 70$ | 5 |
| 3 | 303 | $i = 60,3 \cdot e^{0,86V} + 70$ | 6 |
| 4 | 293 | $i = 52,7 \cdot e^{0,80V} + 70$ | 7 |

Зависимость предэкспоненциального множителя от температуры раствора приведена на рисунке 6. Зависимость имеет вид:

$$K = 0,978 \cdot \exp(1,36 \cdot 10^{-2} \cdot T). \quad (8)$$

Следует отметить, что использование электродиализной технологии сопряжено с опасностью за грязнения мембран и существенного ухудшения их технологических характеристик [9, 10]. В таблице 2 приведены основные виды загрязнений и методы их предотвращения.

Для определения целесообразности использования электрохимических реакторов – регенераторов поглотителя диоксида серы оценим затраты электроэнергии на один энергетический блок 300 МВт

**Рисунок 6** – Зависимость предэкспоненциального множителя от абсолютной температуры раствора.**Таблица 2** – Виды загрязнений мембран и методы их предотвращения

| Вид загрязнения | Характеристика загрязнения | Химическая формула загрязнения | Заряд частиц | Предотвращение загрязнения |
|--------------------------------------|---|--|---------------|---|
| Образование осадка | В растворе образуется взвесь менее растворимых солей | CaCO ₃ , CaSO ₄ ·2H ₂ O, BaSO ₄ , SrSO ₄ , SiO ₂ | Отсутствует | 1. Регулировка pH 2. Использование лимонной кислоты или трилона |
| Осаждение коллоидных примесей | Коллоидные частицы блокируют поверхность мембран | SiO ₂ , Fe(OH) ₃ , Al(OH) ₃ , Cr(OH) ₃ | Отрицательный | 1. Предочистка с использованием микро- и ультрафильтрации, увеличение скорости потока 2. Регулировка pH |
| Образование органических загрязнений | Адсорбция органических веществ на поверхности мембран | Макромолекулы, протеины, полиэлектролиты, гуматы | Отрицательный | 1. Предочистка с использованием микрофильтрации, ультрафильтрации и активированного угля 2. Очистка мембран раствором едкого натра |

при указанных ранее параметрах сжигания топлива. При напряжении, подаваемом на одну электродиализную ячейку 4 В, и общем напряжении тока 300 В количество ячеек составит $n = 75$ шт. плотность тока можно принять 1 000 А/м² и рабочая площадь одной мембранные составит 0,8 м². Из известного закона М. Фарадея для генерации 1 г·экв кислоты и щелочи необходимо расходовать 26,8 А·ч электроэнергии. Соответственно, производительность одного электродиализного аппарата составит:

$$G = n \frac{i \cdot S}{26,8 \cdot 10^3} = \frac{75 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{26,8 \cdot 10^3} = 2,23 \text{ кг·экв/ч},$$

где n – количество ячеек в электродиализном аппарате, шт.;
 i – рабочая плотность тока, А/м²;
 S – рабочая поверхность одной мембранны, м².

Необходимое количество электродиализных аппаратов составит 45 шт.

Расход электроэнергии на собственные нужды с учетом затрат на перекачку раствора составит:

$$\alpha = \frac{45 \cdot 800 \cdot 300 \cdot 10^{-3} \cdot 1,25}{300\,000} = 4,5 \text{ \%}.$$

На традиционных установках, использующих технологию Веллман-Лорд, применяются термические методы регенерации бисульфита натрия. Последние являются энергозатратными, как любые процессы, связанные с фазовым переходом.

ВЫВОДЫ

1. Применение электрохимических регенераторов, работа которых основана на использовании электродиализных аппаратов с bipolarными мембранами, позволяет реализовать бессточную технологию десульфуризации дымовых газов с получением в качестве восстановленного продукта диоксида серы.
2. Эксплуатационные затраты электроэнергии на технологию очистки дымовых газов от диоксида серы при содержании серы в топливе до 2,0 % составят 4,5 % от мощности энергетического блока.
3. В качестве реагента – поглотителя для очистки газов от диоксида серы рационально использовать сульфит натрия.
4. Применение электрохимических регенераторов поглотителя диоксида серы позволяет исключить сброс засоленных стоков в окружающую среду и обеспечить получение высококонцентрированного химического продукта – диоксида серы.
5. Выведены аналитические зависимости плотности тока в электродиализных регенераторах от напряжения подведенного к ячейке и температуры раствора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дариенко, О. Л. К вопросу повышения эффективности десульфуризации дымовых газов на объектах теплоЭнергетики [Текст] / О. Л. Дариенко // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. – 2016. – № 1. – С. 8–11.
2. Высоцкий, С. П. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации [Текст] / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько. – Донецк : Каштан, 2014. – 316 с.
3. Vysotsky, S. P. Improvement of Water Desalination Technologies in Reverse Osmosis Plants [Текст] / S. P. Vysotsky, M. V. Konoval'chik, S. E. Gul'ko // Thermal Engineering. – 2017. – Vol. 64, № 7. – P. 542–548.
4. James, W. Blackburn. Electrodialysis Applications for Pollution Prevention in the Chemical Processing Industry [Текст] / James W. Blackburn // Journal of the Air & Waste Management Association. – 1999. – Volume 49, issue 8. – P. 934–942.
5. Understanding Transport at the Acid-Alkaline Interface of Bipolar Membranes [Текст] / Kyle N. Grew, Joshua P. McClure, Deryn Chu, Paul A. Kohl [et al.] // Journal of The Electrochemical Society. – 2016. – Volume 163, issue 14. – P. 1572–1587.
6. Высоцкий, С. П. Проблемы защиты атмосферы от загрязнения [Текст] / С. П. Высоцкий, А. С. Гавриленко // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2017. – № 3(5), часть 2. – С. 169–172.
7. Высоцкий, С. П. Влияние активности водородных ионов поглотительных растворов на процессы десульфуризации дымовых газов [Текст] / С. П. Высоцкий, О. Л. Дариенко // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2017. – № 3(5), часть 2. – С. 173–176.
8. Pourcelly, G. Electrodialysis with Bipolar Membranes: Principles, Optimization, and Applications [Текст] / G. Pourcelly // Russian Journal of Electrochemistry. – 2002. – Volume 38, Issue 8. – P. 919–926.
9. An Innovative Beneficial Reclamation of Flue Gas Desulfurization Brine Using Bipolar Membrane Electrodialysis Technique [Текст] / Xia Min, Ye Chunsong, Cao Rong, Huang Haoyu [et al.] // International Journal of Electrochemical Science. – 2008. – 13 (2018). – P. 5382–5395.
10. Дариенко, О. Л. Повышение эффективности десульфуризации дымовых газов известковым молоком на основе анолита [Электронный ресурс] / О. Л. Дариенко // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3499>.

Получена 23.10.2020

С. П. ВІСОЦЬКИЙ^a, О. Л. ДАРІЕНКО^b

ЕЛЕКТРОХІМІЧНА РЕГЕНЕРАЦІЯ ПОГЛИНАЧА ДІОКСИДУ СІРКИ З
ДИМОВИХ ГАЗІВ

^a ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^b Автомобільно-дорожній інститут ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет»

Анотація. Розглянуто матеріальні потоки при спалюванні на енергетичних блоках твердого палива. Показано, що альтернативним варіантом процесу десульфурації димових газів може бути застосування як реагенту-поглинача діоксиду сірки сульфіту натрію. Отриманий продукт реакції – бісульфіт натрію відновлюється до сульфіту в електродіалізному апараті з отриманням продукту – діоксиду сірки. На дослідній електродіалізний установці досліджено процес відновлення виснаженого поглинача. Отримано експериментальні залежності щільноти струму від рівня напруги, підвищеної до електродіалізного осередку при різних температурах розчину. Показано, що додаткове збільшення витрат електроенергії на відновлення реагенту-поглинача становить 4,5 % від потужності енергоблоку при вмісті сірки в паливі 2 %.

Ключові слова: електродіаліз, щільність струму, сульфіт натрію, діоксид сірки, вапнякова технологія.

SERGEY VYSOTSKY^a, OKSANA DARIENKO^b

IMPROVEMENT OF GAS CLEANING PROCESSES FOR THERMAL POWER
PLANTS FROM SULFUR DIOXIDE USING ELECTRO DIALYSIS TECHNOLOGY

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Donetsk National Technical University, Automobile and Highway Institute

Abstract. Material flows during solid fuel combustion in power units are considered. It is shown that an alternative variant of the flue gas desulphurization process can be used as a reagent – an absorber of sulfur dioxide sodium sulfite. The resulting reaction product, sodium bisulfite, is reduced to sulfite in an electro dialysis apparatus to obtain a demanded product – sulfur dioxide. The recovery process of the depleted absorber has been studied on a pilot electro dialysis unit. Experimental dependences of the current density on the voltage level supplied to the electro dialysis cell at different temperatures of the solution are obtained. It is shown that an additional increase in electricity consumption for the recovery of the reagent-absorber is 4.5 % of the power unit capacity with a sulfur content of 2 % in the fuel.

Key words: electro dialysis, current density, sodium sulfite, sulfur dioxide, limestone technology.

Высоцкий Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка физико-химических основ обработки сточных вод угольной промышленности.

Даріенко Оксана Леонідовна – ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Автомобильно-дорожного института ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: очистка газовых выбросов, природоохранные технологии ТЭС.

Висоцький Сергій Павлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка фізико-хімічних основ обробки стічних вод вугільної промисловості.

Даріенко Оксана Леонідівна – асистент кафедри екології та безпеки життєдіяльності Автомобільно-дорожнього інституту ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: очищення газових викидів, природоохоронні технології ТЕС.

Vysotsky Sergey – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of physico-chemical fundamentals of wastewater treatment of the coal industry.

Darienko Oksana – Assistant, Department of Ecology and Life Safety, Donetsk National Technical University, Automobile and Highway Institute. Scientific interests: purification of gas emissions, environmental technologies of thermal power plants.

УДК 678.686

Е. Э. САМОЙЛОВА, Ю. В. ФАРАФОНОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВОЗДЕЙСТВИЕ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА СТЕПЕНЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОГИ

Аннотация. Одним из наиболее действенных способов приумножения национального богатства ДНР является обеспечение рационального и экономического использования материальных ресурсов. С этой целью предлагается широко использовать комплексную переработку сырья, малоотходные, безотходные и энергосберегающие технологии, всемерно вовлекать в оборот местные виды сырья и материалов, утилизировать вторичные ресурсы [1, 2]. Предлагается применение шлакощелочного бетона в дорожном строительстве, что обусловлено эколого-экономическими факторами – необходимостью утилизации накопленных промышленных отходов, улучшения экологической безопасности дорог и меньшей стоимостью шлакощелочного бетона по сравнению с асфальтобетоном. В Донецкой Народной Республике в результате многолетней работы горнодобывающих и металлургических предприятий, теплоэлектростанций накопилось большое количество твердых отходов – породные отвалы, металлургические шлаки и золошлаки ТЭС, поэтому использование этих производственных отходов в качестве вторичного сырья является актуальным, особенно в дорожном строительстве. Шлак занимает огромные площади, которые могли бы использоваться в с/х целях, под какие-либо сооружения. Кроме того, существует чисто психологическая проблема: жить и работать в регионе, который является свалкой отходов металлургической промышленности. Такое соседство не доставляет удовольствия никому [3]. Поэтому предлагается простой дешевый и безопасный способ утилизации шлаковых отходов.

Ключевые слова: промышленные отходы, шлаки, утилизация, асфальтобетон, шлакощелочной бетон, экологическая безопасность, водопоглощение, морозоустойчивость.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведены испытания шлакощелочного бетона, использованного для бетонирования временной площадки пограничного и таможенного контроля ППТК «ОЛЕНОВКА».

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка дорожных строительных материалов на основе комплексного использования промышленных отходов, обусловленная эколого-экономическим фактором – необходимостью их утилизации. Возможность применения шлакощелочного бетона в дорожном хозяйстве как альтернативного асфальтобетону, в связи с более высокой стоимостью последнего, а также воздействие его свойств на степень экологической безопасности автомобильной дороги.

В последние годы возрастают требования прежде всего к качеству асфальтобетонов (ДСТУ Б В.2.7-119-2003 – Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный ТУ).

Для строительства автомобильных дорог применяют разнообразные природные и искусственные материалы. Природные строительные материалы добывают в верхних слоях, местах их образования (например: песок, гравий). Искусственные строительные материалы изготавливают по особым технологиям из природных материалов или отходов промышленности, смеси разных материалов – при специальных методах обработки, в результате получаются инновационные материалы с новыми свойствами и экологически безопасные.

Очень большое значение при строительстве дорог имеют экологические проблемы. Поэтому строители дорог должны исключить возможность вредного влияния дороги на окружающую местность, т. е. нарушение технологии приготовления материалов должно отсутствовать.

Современная дорожная одежда представляет собой сложную инженерную конструкцию, состоящую из последовательно уложенных слоёв дорожно-строительных материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами. Эти свойства должны быть тщательно учтены для того, чтобы дорожная одежда могла удовлетворять всем предъявляемым к ней требованиям и обеспечивать движение транспортных средств в любое время года, с расчётной скоростью.

При неудовлетворительном качестве покрытия, наличии выбоин, колеи возникает необходимость не только снижения скорости, но и торможения. Потери энергии автомобилем на это могут достигать 50 %. Поэтому выбросы отработавших газов от автомобилей создают наиболее остро ощущаемые воздействия на окружающую среду. Таким образом, дорожную одежду необходимо проектировать с таким расчетом, чтобы за межремонтный срок не возникло разрушений и недопустимых, с точки зрения предусмотренных действующими нормативными документами требований к ровности покрытия, остаточных деформаций, а также, чтобы воздействие природных факторов не приводило к недопустимым изменениям в ее элементах [3].

Металлургия традиционно является одним из главных «поставщиков» техногенного сырья для промышленности строительных материалов. Особенность ее многотоннажных отходов заключается в том, что техногенное сырье уже прошло высокотемпературную обработку, кристаллические структуры в отходах сформированы, и они не содержат органических примесей. Шлаки – это искусственные силикаты. Они состоят из окислов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, марганца и других. Эти же окислы содержатся в природных глубинных горных породах. В зависимости от количественного соотношения окислов, а также от условий и скорости охлаждения шлаковых расплавов шлаки могут иметь свойства гранита или вулканической пемзы. Шлаки могут быть плотными и пористыми, тяжелыми, как базальт, и легкими, как туф или ракушечник.

Плотность шлака колеблется от 3 200 до 800 кг/м³. Удельный вес шлака, т. е. вес его вещества, близок к весу природных каменных материалов и составляет 2,5...3,6 г/см³. По химическому составу доменные шлаки делятся на основные, нейтральные и кислые.

Основными являются шлаки с модулем основности ($M = (CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3)$), больше единицы, кислые – меньше единицы.

Примерный химический состав доменных шлаков следующий: SiO_2 – 30...40 %, CaO – 30...50 %, Al_2O_3 – 4...20 %, MnO – 0,5...2,0 %, FeO – 0,1...2,0 %, SO_3 – 0,4...2,5 % [4].

Ещё в 80-е годы прошлого века проводились исследования шлакощелочных цементов и бетонов. Шлакощелочные цементы придают большую водонепроницаемость, морозостойкость и жаростойкость, лучшую устойчивость к воздействию агрессивных сред [5].

Приготовление шлакощелочного бетона, по сути, не отличается от приготовления обычного бетона на основе портландцемента, с одной лишь разницей – затворение бетонной смеси производится растворами щелочных компонентов [5].

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры было проведено определение технических показателей дорожно-строительных материалов с использованием шлакощелочного бетона.

Согласно нормативным документам [6–7], покрытие (верхний слой) капитальных автодорог 1 и 2 категорий может производиться из горячего плотного мелкозернистого (максимальная крупность заполнителя 20 мм) асфальтобетона I марки и монолитного цементобетона.

При этом расчетные уровни надежности для нежесткого (асфальтобетонного) дорожного покрытия должны составлять не менее 15 лет, для жесткого (цементнобетонного) – 25 лет [7, табл. 5.2].

Минимальная толщина многослойного асфальтобетона – 15 см и однослойного цементно-бетонного покрытия при закладке стальных соединительных штырей в поперечных швах 22 см и 24 см при отсутствии штырей [7, табл. 5.3, 5.4], т. е. расход асфальтобетона составит 0,15, а цементобетона 0,24 м³/м² дороги.

Согласно табл. 5.5 [7] под цементнобетонное покрытие основой могут быть как цементные бетоны класса В 7,5, так и асфальтовые бетоны.

По данным на июль 2019 года отпускная цена асфальтобетона для дорожных покрытий составляла около 12 000 руб./м³, а цементного бетона – 3 500...5 000 руб./м³ при примерно одинаковой средней плотности (объемной массе) – 2 400 кг/м³. Если не учитывать расходы на укладку бетонов (а достигнутый уровень механизации при использовании цементного бетона существенно выше), то даже в этом случае стоимость квадратного метра цементнобетонной дороги будет в 1,5 раза ниже

$$(5\ 000 \cdot 0,24 = 1\ 200 \text{ руб./м}^2 \text{ против } 12\ 000 \cdot 0,15 = 1\ 800 \text{ руб./м}^2).$$

Были проведены испытания шлакощелочного бетона, использованного для бетонирования временной площадки пограничного и таможенного контроля ППТК «ОЛЕНОВКА».

Определены предел прочности при сжатии и водопоглощение бетона на кубиках с ребром 10 см. Предел прочности при изгибе – на балочках 10×10×40 см. Бетонная смесь уплотнялась методом вибрации. Отформованные образцы в укрытых формах выдерживались в течение суток, затем извлекались из форм и помещались в камеру с гидрозатвором и выдерживались дополнительно 27 суток над водой при температуре 18...22 °С и относительной влажности 95...100 %. Испытания проводились согласно документам, указанным в табл. 1.

Таблица 1 – Использованная нормативная документация

| Шифр нормативного документа | Наименование нормативного документа |
|-----------------------------|--|
| ГОСТ 1081-2000 | Смеси бетонные. Методы испытаний. |
| ДСТУ Б В.2.7- 43-96 | Бетоны тяжелые. Технические условия. |
| ДСТУ Б В.2.7- 214:2009 | Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. |
| ДСТУ Б В.2.7- 25-95 | Бетони важкі шлакодужні. Технічні умови. |
| ГОСТ 12730.3-78 | Бетоны. Метод определения водопоглощения. |
| ГОСТ 10060.1-95 | Бетоны. Базовый (первый) метод определения морозостойкости. |
| ГОСТ 10060.1-95 | Бетоны. Метод определения морозостойкости. |

Испытаны бетоны, составы которых приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Номинальные составы и свойства бетонных смесей

| № п/п | Расход материалов, кг/м ³ | | | | | | Подвижность смеси, см |
|-------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------|-----------------------|
| | Молотый доменный граншлак | Известняк 2,5 – 20 мм | Известняк 0–2,5 (0–5) мм | Раствор кальцинированной соды, л (кг) | Кальцинированная сода | Вода | |
| 1 | 500 | 1 200* (850) | 500* (850) | 240 (288) | – | – | 2 |
| 2 | 500 | 1 200* (850) | 500* (850) | – | 48 | 240 | 3 |

*Примечание: в скобках указан расход заполнителей при использовании отсева известняка фракции 0–5 мм, который содержит 40...45 % щебенистой фракции 2,5...5,0 мм.

Результаты испытания бетона приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства смесей бетонов

| № состава | Предел прочности, МПа | | Морозостойкость | Водопоглощение, % |
|-----------|-----------------------|------------|--|-------------------|
| | При сжатии | При изгибе | | |
| 1 | 36,66 | 4,83 | F200 (потеря массы 2,5 %, потеря прочности 12 %) | 8,3 |
| 2 | 35,33 | 4,80 | F200 (потеря массы 2,9 %, потеря прочности 11,5 %) | 8,4 |

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена возможность применения шлакощелочного бетона в дорожном строительстве, а также воздействие его свойств на степень экологической безопасности автомобильной дороги.

2. По пределу прочности при сжатии оба состава бетона относятся к классу В25, приближаясь к классу В30 (по ДСТУ Б В.2.2-43-96 и ДСТУ Б В.2.7-25-95 минимальная прочность при сжатии 3,5 МПа или 392,9 кг/см²).

3. По пределу прочности при изгибе оба состава бетона относятся к классу Вт3,6 (по ДСТУ Б В.2.2-43-96 и ДСТУ Б В.2.7-25-95 минимальная прочность при изгибе 4,62 МПа или 47,2 кг/см²).

4. Независимо от способа введения кальцинированной соды бетоны характеризуются высокой морозостойкостью F200.

5. Применение шлаков в дорожном строительстве улучшает условия охраны окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, Л. Н. Снижение материоемкости и повышение эффективности производства строительных материалов [Текст] / Л. Н. Авдеев, Р. Я. Дроздов, М. А. Пестова. – М. : Стройиздат, 1982. – 80 с.
2. Довгопол, В. И. Использование шлаков черной металлургии [Текст] / В. И. Довгопол. – М. : Металлургия, 1978. – 268 с.
3. Фролов Ю. Н. Техническая эксплуатация и экологическая безопасность автомобильного транспорта [Текст] : учебное пособие / Ю. Н. Фролов. – Москва : Издательство «МАДИ (ГТУ)», 2009. – 183 с.
4. Мчедлов-Петросян, О. П. Химия неорганических строительных материалов [Текст] / О. П. Мчедлов-Петросян. – М. : Стройиздат, 1981. – 224 с.
5. Глуховский, В. Д. Шлакощелочные цементы и бетоны [Текст] / В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. – Киев : «Будівельник», 1978. – 184 с.
6. ДБН Б.В.2.3-4-2000 Автомобільні дороги [Текст]. – На заміну СНiП 2.05.02-85, СНiП 3.06.03-85 ; чинні від 2000-07-01. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 117 с.
7. ДБН В.2.3-5-2001 Улицы и дороги населенных пунктов [Текст]. – введ. 2001-04-11. – К. : Госстрой Украины, 2001. – 43 с.

Получена 23.10.2020

О. Е. САМОЙЛОВА, Ю. В. ФАРАФОНОВА
ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДОРОЖНИХ ОДЯГІВ НА СТУПІНЬ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОРОГИ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Одним з найбільш дієвих способів примноження національного багатства ДНР є забезпечення раціонального і економного використання матеріальних ресурсів. З цією метою пропонується широко використовувати комплексну переробку сировини, маловідходні, безвідходні та енергозберігаючі технології, всіляко залучати в оборот місцеві види сировини і матеріалів, утилізувати вторинні ресурси [1, 2]. Пропонується застосування шлаколужного бетону в дорожньому будівництві, що обумовлено екологіко-економічними факторами – необхідністю утилізації накопичених промислових відходів, поліпшення екологічної безпеки доріг і меншою вартістю шлаколужного бетону в порівнянні з асфальтобетоном. У Донецькій Народній Республіці в результаті багаторічної роботи гірничодобувних і металургійних підприємств, теплоелектростанцій накопичилася велика кількість твердих відходів – породні відвали, металургійні шлаки і золошлаки ТЕС, тому використання цих виробничих відходів як вторинної сировини є актуальним, особливо в дорожньому будівництві. Шлаки займають величезні площини, які могли б використовуватися в с/т цілях, під будь-які споруди. Крім того, існує чисто психологічна проблема: жити і працювати в регіоні, який є звалищем відходів металургійної промисловості. Таке сусідство не приносить задоволення нікому [3]. Тому пропонується простий дешевий і безпечний спосіб утилізації шлакових відходів.

Ключові слова: промислові відходи, шлаки, утилізація, асфальтобетон, шлаколужний бетон, екологічна безпека, водонепроникність, морозостійкість

HELEN SAMOJLOVA, YILIYA FARAFONOVA
IMPACT OF THE PROPERTIES OF ROAD PAVEMENTS ON THE DEGREE OF
ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE ROAD
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. One of the most effective ways to increase the national wealth of the DPR is to ensure the rational and economic use of material resources. For this purpose, it is proposed to widely use the complex processing of raw materials, low-waste, waste-free and energy-saving technologies, to involve in every possible way local types of raw materials and materials, to utilize secondary resources [1, 2]. The use of slag-alkaline concrete in road construction is proposed, which is due to environmental and economic factors – the need to utilize accumulated industrial waste, improve the environmental safety of roads and the lower cost of slag-alkaline concrete compared to asphalt concrete. In the Donetsk People's Republic, as a result of many years of work of mining and metallurgical enterprises, thermal power plants, a large amount of solid waste has accumulated – rock dumps, metallurgical slags and ash and slag from TPPs, therefore the use of these

industrial waste as secondary raw materials is relevant, especially in road construction. Slag occupies huge areas that could be used for agricultural purposes, for any structures. In addition, there is a purely psychological problem: to live and work in a region that is a dumping ground for metallurgical waste. Such a neighborhood does not give pleasure to anyone [3]. Therefore, a simple, cheap and safe method of disposal of slag waste is proposed.

Key words: industrial waste, slag, recycling, asphalt concrete, slag-alkali concrete, environmental safety, water absorption, frost resistance.

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной химии; кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов, технология рекуперации вторичных материалов промышленности.

Фарафонова Юлия Валерьевна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: утилизация, использование дорожных отходов, как вторичное сырьё в строительстве.

Самойлова Олена Едуардівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної хімії; кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів, технологія рекуперації вторинних матеріалів промисловості.

Фарафонова Юлія Валеріївна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: утилізація, використання дорожніх відходів, як вторинна сировина в будівництві.

Samojlova Helen – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Applied Chemistry Department; Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical research of polymer composite materials, technology for the recovery of industrial secondary materials.

Farafonova Yiliya – master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling, use of road waste as a secondary raw material in construction.

UDC 628.1

NADIY NASONKINA, ELENA FESKOVA, PAVEL BEREZA, OLEG ZHUKOV
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture**ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF SANITATION PROTECTION ZONES FOR
WATER SUPPLY OBJECTS (ON THE EXAMPLE OF CAPTAGE)**

Abstract. In order to ensure the safe operation of water supply systems, especially in dense buildings, it is necessary to analyze and reconstruct sanitary protection zones, taking into account modern requirements and the current urban planning situation. Most of the approaches do not provide for risk assessment and changes in the integrity of the sanitary protection zones during the operation of structures and changes in the development of settlements. On the example of a capturing well, the scheme of reconstruction of sanitary protection zones is considered, taking into account modern requirements. Recommendations and guidelines for the ordering and organization of the territories of the three zones of the sanitary protection zone are proposed, as well as the rules for development and land use within the boundaries of the sanitary protection zone, taking into account its functional and intended use. The analysis and justification of the necessary boundaries of the sanitary protection zones in accordance with the current regulatory documents, and the results of field studies are presented.

Key words: water supply, capturing, sanitary protection zones, risk, reliability.

FORMULATION OF THE PROBLEM

One of the main issues in the field of sanitary and epidemiological welfare of the population is the provision of high-quality drinking water. Sanitary protection of municipal water supply systems is ensured through the creation of sanitary protection zones (hereinafter SPZ). The primary task of their formation is considered to be the protection of water resources, water pipelines, as well as water supply facilities from negative anthropogenic impact.

RESEARCH ANALYSIS

Work on the study of the reliability of water supply facilities was carried out under the guidance of such scientists as N. N. Abramov [8], P. Bertoks [9], A. E. Vasyukov [31], L. I. Globa, P. I. Gvozdyak [32], V. V. Goncharuk [17], A. Ya. Naimanov [23, 24]. With others. In [7, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 26, 27, 29, 30] the problems of safe water supply and ways of their improvement are considered.

The defining normative document in the development of sanitary protection zones is SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 [4].

It should be noted that most approaches do not provide for risk assessment and changes in the integrity of the SPZ during the operation of structures and changes in the development of settlements. In order to ensure the sanitary and epidemiological safety of the water supply systems and their adaptation to modern urban planning standards and conditions of dense development, it is necessary to further develop research on recalculating SPZs, taking into account the conditions of reliability and reducing the risk in the system.

The purpose of the article is to analyze the current state of the sanitary protection zone, to identify the main problems arising during the operation of zones in a densely built environment and to develop ways to preserve the sanitary and epidemiological safety of water supply facilities (using the example of underground water intakes).

THE MAIN RESEARCH MATERIAL

One of the main issues in the field of sanitary and epidemiological welfare of the population is the provision of high-quality drinking water.

© Nadiy Nasonkina, Elena Feskova, Pavel Bereza, Oleg Zhukov, 2020

The main importance in ensuring the sanitary protection of water supply systems is acquired by the sanitary protection zones (hereinafter referred to as SPZ). The primary task of their formation is considered to be the sanitary protection of water resources, water pipelines, as well as water supply facilities from negative anthropogenic impact. SPZs perform the functions of a natural filter.

The design of sanitary protection zones is carried out at all stages of the development of urban planning documentation, construction projects, reconstruction and operation of a separate facility and production and / or a group of industrial facilities and production facilities.

The problems of the spatial organization of the SPZ arise due to the lack of a clear functional zoning of the territory of the settlement and non-observance of planning restrictions.

Functional zoning is directly related to the boundaries of zones of planning restrictions. The location and development of water supply facilities does not always comply with environmental standards [20].

Restrictions on urban planning activities associated with the SPZ are temporary and subject to adjustment in the system of urban planning and sanitary and hygienic monitoring.

To assess environmental safety and compliance with sanitary and epidemiological standards for sanitary protection zones of water supply facilities, it is proposed to use a system model.

The model considers a hierarchical logical and mathematical structure for classifying the safety of the state of the water supply system (Figure 1).

This structure of the model classification provides an assessment of the general state of the system and allows one to judge how changes in individual indicators of subsystems affect the state of the entire system. This in turn determines the direction of efforts to improve the indicator that has the strongest impact on the safety of the system.

Assessment of the state of the system, subsystems in the model is carried out in parallel in two directions – quantitative and qualitative.

The logical function, which is based on a set of qualitative states of individual indicators, is classified by the qualitative state of the entire system. A quantitative measure is carried out on the set of states of individual subsystems. Based on the quantitative measures of individual subsystems, the quantitative measure of the entire system is determined [13].

According to the approximation of measures to a particular standard, the environmental safety of the system is assessed.

Let's consider the application of the model in more detail using the example of underground water supply sources.

The subsystem is designed to assess the impact of a violation of the SPZ according to the criteria of the anthropogenic impact of water pollution and the degree of their use.

According to SanPiN 2.1.4.1110-02 [3], drinking water supply sources are required to meet specific location requirements for sources of possible pollution. Based on sanitary rules [3], sources of decentralized water supply should be located in an unpolluted area upstream of the groundwater. Sources of non-centralized water supply, as well as the adjacent territory, must be kept clean. If sanitary standards are not observed, the water in the source can be hazardous to health.

Water use is determined by the vector $Q = (Q_5, Q_4, Q_3, Q_2, Q_1)$, where Q_5 corresponds to «catastrophic», Q_4 – «very bad», Q_3 – «bad», Q_2 – «satisfactory», Q_1 – «good».

The use vector is determined by the logical function (1):

$$Q(q_i) = \begin{cases} Q_5, & \text{if } q_i > l_0; \\ Q_4, & \text{if } l_1 < q_i \leq l_0; \\ Q_3, & \text{if } l_2 < q_i \leq l_1; \\ Q_2, & \text{if } l_3 < q_i \leq l_2; \\ Q_1, & \text{if } q_i \leq l_3 \end{cases} \quad (1)$$

$i \in /1, 4/$

The assessment of the generalized influence of the criteria is carried out on the basis of the function (2):

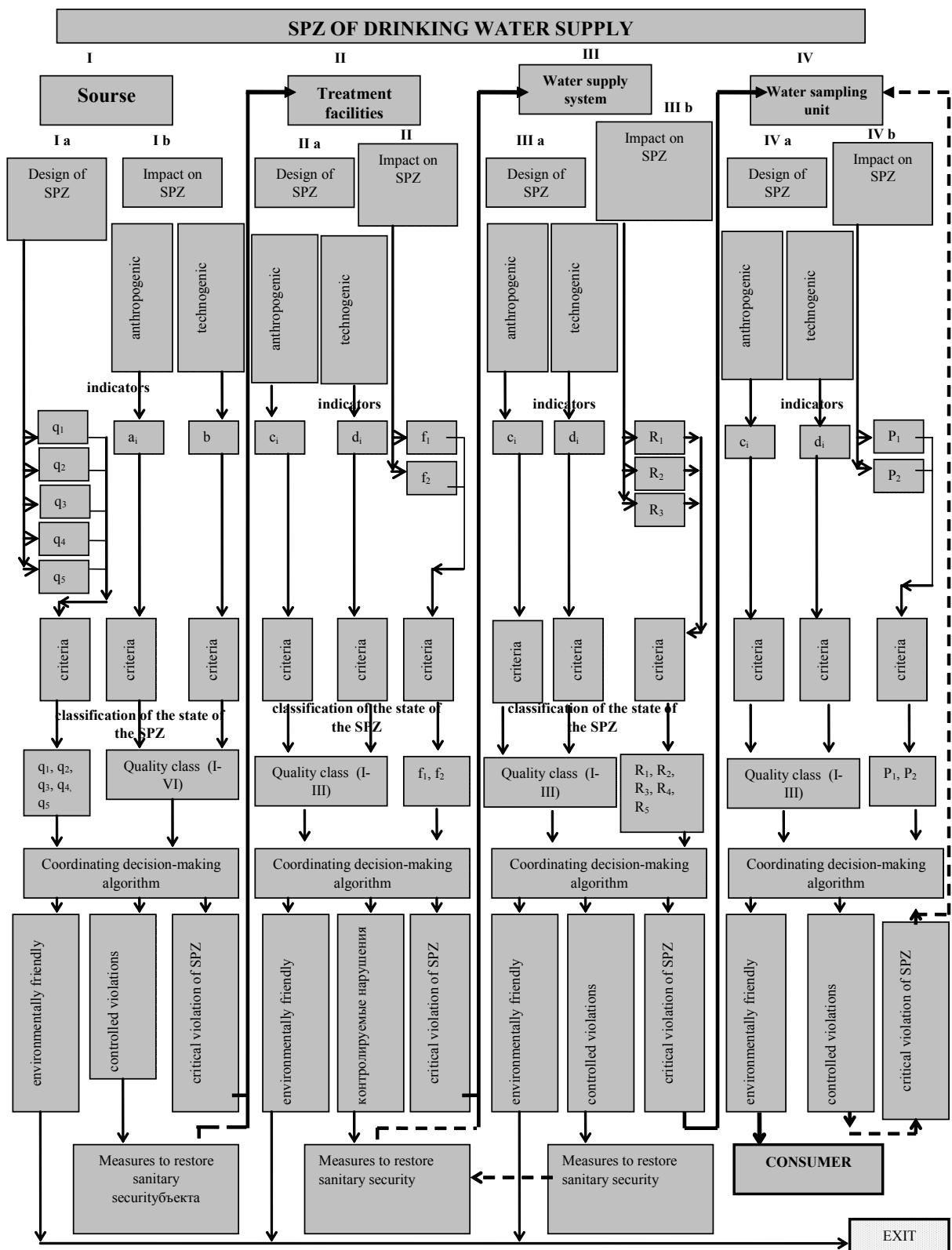


Figure 1 – Block diagram of the model.

$$\varphi_k(Q) = \begin{cases} -5, & \text{if } Q = Q_5; \\ -3, & \text{if } Q = Q_4; \\ -1, & \text{if } Q = Q_3; \\ 1, & \text{if } Q = Q_2; \\ 3, & \text{if } Q = Q_1; \end{cases} . \quad (2)$$

$k \in /1,4/$

To evaluate the generalized criterion, a well-known weighted average normalized function of measures is introduced (3):

$$H_i = \frac{\sum_{k=1}^{n_k} \beta_k \cdot \varphi_k(Q)}{\sum_{k=1}^{n_k} \beta_k}, \quad (3)$$

where β_k is a weighting factor reflecting the relative importance of the k -th indicator.

Water quality in sources is assessed by pollution.

By the nature of the polluting elements, two key types of groundwater pollution are emphasized: chemical and microbial.

Microbial pollution is caused by the ingress of untreated wastewater into the aquifer (domestic, sediment, thawed, washing, from poultry and livestock farms, sewage and filtration fields, with leaks and emergency discharges from sewer networks), as well as river waters polluted with waste waters. The length of the path for the advancement of pathogens in the aquifer depends on hydrogeological factors (speed of water movement, lithological composition of rocks), the type of microorganisms and their number. At the same time, it is limited by the survival time and preservation of the virulence of microorganisms in the specific conditions of the aquifer, characterized by a relatively low temperature, lack of illumination, the presence of antagonistic microbes and other features. Thus, microbial contamination in groundwater is unstable and unstable. The survival time of pathogens in groundwater is an important parameter in determining the size of the SPZ; according to special studies, it reaches 100–400 days [25].

A retarding effect on the spread of microorganisms in groundwater is exerted by their adsorption in the rocks that form the aquifer. Due to the fact that the amount of adsorption of microorganisms in rocks is very variable and is still poorly understood, to quantitatively characterize the retarding effect of adsorption, as a rule, experiments are needed on samples of rocks from the exploited aquifer, and sometimes rocks from the aeration zone. Therefore, when justifying the SPZ of groundwater intakes, adsorption and other factors (except for survival) that limit the possibility of the spread of microorganisms are usually not taken into account. Accounting for these factors is allowed only in cases where their influence is pronounced and the patterns of manifestation are sufficiently studied [11].

The main sources of chemical pollution of groundwater are: industrial wastewater entering water bodies and filtering into the ground on the territory of industrial enterprises, accumulators and other collectors of industrial waste; surface runoff contaminated with agricultural fertilizers and pesticides; warehouses of pesticides and mineral fertilizers, bases of fuels and lubricants and other facilities, the structures of which do not exclude leakage of wastewater, process solutions, and contaminated surface waters into the ground. Pollution of the atmosphere and soil from gas and smoke emissions also entails a deterioration in the chemical composition of groundwater.

An integral indicator characterizing water quality according to the limiting hazard criterion is determined by the well-known equation (4):

$$L_{ij} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{ij}}{MPC_i}, \quad (4)$$

Where n – n is the total amount of substances;

L_{ij} – integral indicator;

C_{ij} – actual concentration of a substance in water, mg/dm³;

MPC_i – maximum permissible concentration of a substance in water, mg/dm³.

Based on the obtained indicator, a system of measures is determined to reduce the load on the SPZ, or to recalculate them [28].

To prevent pollution of the groundwater intake, a sanitary protection zone (SPZ) is created around it, consisting of three zones, in which special measures are taken to exclude the possibility of pollution entering the water intake and into the aquifer in the area of the water intake. In addition to this, it is envisaged that groundwater intakes should not be located near sources of chemical and bacteriological pollution.

Determination of the boundaries of the SPZ and the development of a set of necessary sanitary measures depend on the type of water supply sources designed or used for household and drinking water supply, on the degree of their natural protection and the possibility of microbial or chemical pollution, on the characteristics of sanitary, hydrogeological and hydrological conditions, as well as on the nature of the pollutants.

The established boundaries of the SPZ and its constituent belts can be revised in the event of any arising or impending changes in the operating conditions of water supply sources [3].

Groundwater intakes should be located, as a rule, outside the territory of industrial enterprises and residential buildings. The first SPZ belt is installed at a distance of at least 30 m from the water intake – when using protected groundwater and at a distance of at least 50 m – when using insufficiently protected groundwater [3]. The boundary of the second SPZ belt is determined by hydrodynamic calculations based on the conditions that if microbial (unstable) pollution will enter the aquifer within its limits, they will not reach the water intake. The main parameter that determines the distance from the boundaries of the second zone of the SPZ to the water intake is the time of the movement of microbial pollution with the flow of groundwater to the water intake (T_m). To effectively protect the underground source of water supply from microbial pollution, it is necessary that the estimated time (T_m) of the movement of pollution with groundwater from the border of the second belt to the water intake is sufficient for the loss of viability and virulence of pathogenic microorganisms, i.e. for effective self-cleaning. The time (T_m) of the movement of microbial pollution with the flow of groundwater to the water intake should be considered the main parameter that determines the distance from the boundaries of the second zone of the SPZ to the water intake and at the same time ensures the epidemic and hygienic reliability of the boundaries of the SPZ. The boundary of the third zone of the SPZ is determined by hydrodynamic calculations, based on the condition that if chemical (stable) pollution enters the aquifer outside of it, they either will not reach the water intake, moving with groundwater outside the recharge area, or will reach the water intake, but not earlier than the estimated time T_x [3].

State sanitary supervision over the implementation of water protection measures within the first, second and third zones of the SPZ is carried out by local authorities of the sanitary and epidemiological service.

Measures are provided for each belt of the SPZ in accordance with its purpose. They can be one-time, carried out before the start of operation of the water intake, or permanent, of a regime nature (clause 3.1.1 SanPiN 2.1.4.1110-02) [3].

Let us consider the application of this approach using the example of capturing located on the territory of the DPR.

Hydrogeological calculations were performed according to [7, 10]. Geo-structurally, the underground water intake site is located in the central part of the Donetsk basin.

The analysis and justification of the necessary boundaries of the sanitary protection zones in accordance with the current regulatory documents [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] and hydrogeological calculations (figure 2). In figure 2, yellow indicates the boundaries of the third belt of the SPZ, and orange indicates the boundaries of the second belt, and red indicates the boundaries of the first belt.

The data obtained show that the border of the first zone of the SPZ for an insufficiently protected source of groundwater should be removed from the well by 50 m. The length of the border is 345.4 m. The area of the first belt is 0.95 ha. The site with the underground water intake facilities is in cramped conditions. Residential private buildings are located within the first zone of the ZZO underground water intake. The area of the plot within the boundaries of the allotment is 0.175 hectares, the length of the land allotment boundary is 171 m.

The length of the border of the second zone of the SPZ is 596.6 m. The area of the second belt is 1.88 hectares.

The boundary of the third zone of the SPZ is a bending line at a distance of 170 m downstream of the groundwater flow, upstream of the flow of groundwater, the estimated distance of 1 400 m is reduced to 900 m, since it is limited by the river, the northern side border is removed from the capturing well by 210 m, the southern one is limited by the river to 170 m.

The length of the border of the third zone of the SPZ water intake is 2.5 km, the area is 24.62 hectares.

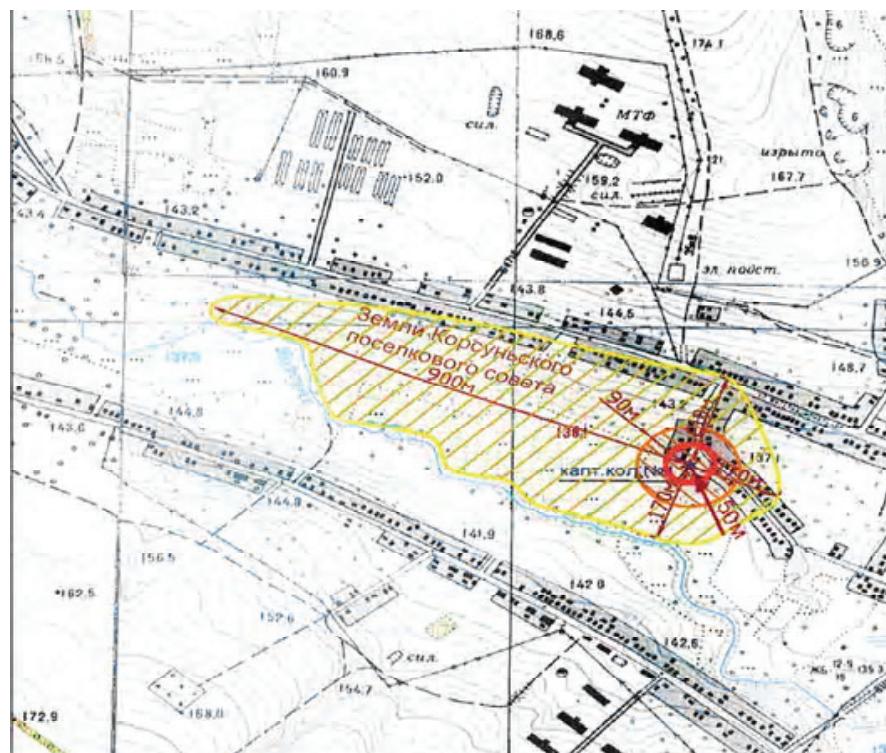


Figure 2 – Plan of SPZ belts.

In the course of the study, it was found that the sanitary protection zone of the underground water intake is not organized. Due to the proximity to the water intake of residential buildings, there is no possibility of organizing a waste water treatment plant in accordance with sanitary norms and rules. In this regard, based on the current situation, it is necessary to carry out a set of measures to maximize the protection of groundwater from pollution.

The sanitary-technical condition of the territory of the first and second zones of the SPZ is unsatisfactory. Recommendations and guidelines for the ordering and organization of the territories of the three zones of the sanitary protection zone are proposed, as well as the rules for development and land use within the boundaries of the sanitary protection zone, taking into account its functional and intended use.

CONCLUSIONS

To obtain the most detailed picture of the state of the SPZ of the water supply system, a comprehensive assessment of the environmental safety of the system should be used. This assessment can be of particular importance if it is necessary to urgently eliminate negative changes that have occurred in the system, and when developing a program of measures aimed at increasing the reliability of the water supply system.

REFERENCES

1. Об охране окружающей среды [Текст] : Федеральный закон от 10 января 2002 г. №7-ФЗ ; утв. Советом Федерации РФ 26.12.2001 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 14 января 2002 г. – № 2 – Ст. 133.
2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.03.1999 №52-ФЗ ; принят Государственной Думой РФ 12.03.1999. – Режим доступа : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13636>.
3. СанПиН 2.1.4.1110-02 «2.1.4. ПИТЬЕВАЯ ВОДА И ВОДОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» [Электронный ресурс]. – Введ. 2002-06-01 ; утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 26.02.2002 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 24.04.2002 N 3399). – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/901816579>.
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Новая редакция [Электронный ресурс] – Введ. 2008-03-01 ; Главным государственным санитарным врачом РФ 25.09.2007 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 25.01.2008 N 10995). – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/902065388>.

5. СП 1.1.1058-01 Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий [Электронный ресурс]. – Введ. 2002-0-01 ; утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 13.06.2001 (Зарегистрировано в Министерстве РФ 30.10.2001 N 3000). – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/901793598>.
6. СНиП 23-01-99* Строительная климатология [Электронный ресурс]. – Введ. 2000-01-01 / Госстрой СССР. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200004395>.
7. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения [Текст]. – Введ. 1983-08-12. – М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1983. – 102 с.
8. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение. [Текст] / Н. Н. Абрамов – М. : Стройиздат, 1982. – 440 с.
9. Бертокс, П. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений [Текст] / П. Бертокс, Д. Радд. – М. : Мир, 1980. – 606 с.
10. Богомолов, Г. В. Основы гидрогеологии [Текст] / Г. В. Богомолов. – М. : Госгеологиздат; 1951. – 135 с.
11. Бочевер, Ф. М. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений [Текст] / Ф. М. Бочевер, А. Е. Орадовская. – М. : Недра, 1972. – 129 с.
12. Братков, В. В. Геоэкология [Текст] : учеб. пособие / В. В. Братков, Н. И. Овдиенко. – М. : [б. и.], 2005. – 313 с.
13. Вознесенський, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В. А. Вознесенський. – М. : Статистика, 1974. – 192 с.
14. Геологические аспекты охраны окружающей среды [Текст] / Под ред. К. И. Лукашева. – Минск : Наука и техника, 1987. – 336 с.
15. Геоэкология [Текст] : Геологический словарь: [в 3 т.], Т. 1. А–Й / гл. ред. О. В. Петров. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2010. – 244 с.
16. Геоэкология [Текст] : Экологическая энциклопедия : В 6 Т., т. 2. Г-И / Гл. ред. В. И. Данилов-Данильян. – М. : ООО «Изд-во «Энциклопедия», 2010. – 416 с.
17. Гончарук, В. В. Вода: Проблемы устойчивого развития цивилизации в XXI веке [Текст] / В. В. Гончарук. – К. : НКХХВ НАН Украины, 2003. – 47 с.
18. Горшков, С. П. Концептуальные основы геоэкологии [Текст] : учебное пособие / С. П. Горшков. – Смоленськ : Ізд-во Смоленского гуманитарного университета, 1998. – 288 с.
19. Карлович, И. А. Геоэкология: учебник для высшей школы [Электронный ресурс] / И. А. Карлович. – Москва : Академический Проект, 2013. – 512 с. – Режим доступа : <http://www.iprbookshop.ru/27460.html>.
20. Комарова, Н. Г. Геоэкология и природопользование [Текст] / Н. Г. Комарова. – М. : Академия, 2003. – 192 с.
21. Кочуров, Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территорий [Текст] / Б. И. Кочуров. – Смоленськ : СГУ, 1999. – 154 с.
22. Кутырин, И. М. Охрана воздуха и поверхностных вод от загрязнения [Текст] / И. М. Кутырин. – М. : Наука, 1980. – 286 с.
23. Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства [Текст] / А. Я. Найманов, Н. Г. Насонкина, В. Н. Маслак, Н. И. Зотов. – Донецк : НАН Украины. Ин-т экономики пром-сти, 2001. – 152 с.
24. Водоснабжение [Текст] / А. Я. Найманов, С. Б. Никиша, Н. Г. Насонкина, Н. П. Омельченко [и др.]. – Донецк : Издательство «Норт-Пресс», 2004. – 649 с.
25. Орадовская, А. Е. Санитарная охрана водозаборов подземных вод [Текст] / А. Е. Орадовская, Н. Н. Лапшин. – М. : Недра, 1987. – 99 с.
26. Подосенова, Е. В. Технические средства защиты окружающей среды [Текст] / Е. В. Подосенова. – М. : Машиностроение, 1980. – 144 с.
27. Санитарная охрана водных объектов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. А. Бархатова, И. Л. Карпенко, Л. А. Перминова, Л. В. Зеленина ; под редакцией В. М. Боев. – Оренбург : Оренбургская государственная медицинская академия, 2012. – 72 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31836.html>.
28. Сырцова, Е. Д. Математические методы в планировании и управлении строительным производством [Текст] / Е. Д. Сырцова. – М. : Высшая школа, 1972. – 336 с.
29. Хотунцев, Ю. Л. Экология и экологическая безопасность [Текст] / Ю. Л. Хотунцев. – М. : Академия, 2002. – 480 с.
30. Ясаманов, Н. А. Основы геоэкологии [Текст] : учеб. пособие / Н. А. Ясаманов. – М. : Академия, 2003. – 352 с.
31. Васюков, А. Е. Химические аспекты экологической безопасности поверхностных водных объектов [Текст] / А. Е. Васюков // Химия и технология воды. – 2005. – Т. 27, № 3. – С. 294–308.
32. Опытно-промышленные испытания биотехнологии очистки речной воды [Текст] / Л. И. Глоба, П. И. Гвоздяк, Н. Б. Загорная [и др.] // Химия и технология воды. – 1992. – Т. 14, № 1. – С. 68–73.

Получена 15.10.2020

Н. Г. НАСОНКИНА, Е. А. ФЕСЬКОВА, П. Г. БЕРЁЗА, О. Э. ЖУКОВ
АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КАПТАЖА)
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. С целью обеспечения безопасной работы систем водоснабжения, особенно в условиях плотной застройки, необходимо проводить анализ и реконструкцию зон санитарной охраны с учетом современных требований и сложившейся градостроительной ситуации. Большинство подходов не предусматривает оценку риска и изменения целостности зон санитарной охраны в процессе эксплуатации сооружений и изменений в застройке населенных пунктов. На примере квартального колодца рассмотрена схема реконструкции зон санитарной охраны с учетом современных требований. Предложены рекомендации и методические указания по упорядочению и организации территории трех поясов зоны санитарной охраны, а также сформулированы правила застройки и землепользования в границах зоны санитарной охраны с учетом его функционального и целевого использования. Проведен анализ и обоснование необходимых границ зон санитарной охраны в соответствии с действующими нормативными документами, а также представлены результаты натурных исследований.

Ключевые слова: водоснабжение, квартал, зоны санитарной охраны, риск, надежность.

Н. Г. НАСОНКИНА, О. О. ФЕСЬКОВА, П. Г. БЕРЕЗА, О. Е. ЖУКОВ
АНАЛІЗ І РОЗРОБКА ЗОН САНІТАРНОЇ ОХОРОНИ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ
ВОДОПОСТАЧАННЯ (НА ПРИКЛАДІ КАПТАЖУ)
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. З метою забезпечення безпечної роботи систем водопостачання, особливо в умовах щільної забудови, необхідно проводити аналіз і реконструкцію зон санітарної охорони з урахуванням сучасних вимог і сформованої містобудівної ситуації. Більшість підходів не передбачає оцінку ризику і зміни цілісності зон санітарної охорони в процесі експлуатації споруд і змін в забудові населених пунктів. На прикладі квартального колодязя розглянута схема реконструкції зон санітарної охорони з урахуванням сучасних вимог. Запропоновано рекомендації та методичні вказівки щодо впорядкування та організації території трьох поясів зони санітарної охорони, а також сформульовані правила забудови та землекористування в межах зони санітарної охорони з урахуванням його функціонального і цільового використання. Проведено аналіз та обґрунтування необхідних меж зон санітарної охорони відповідно до діючих нормативних документів, а також представлені результати натурних досліджень.

Ключові слова: водопостачання, квартал, зони санітарної охорони, ризик, надійність.

Насонкина Надежда Геннадьевна – доктор технических наук, профессор кафедры городского строительства и хозяйства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: системы водоснабжения и водоотведения, экологическая безопасность систем водоснабжения.

Феськова Елена Александровна – ассистент кафедры проектирования зданий и строительной физики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: установление и формирование водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы водных объектов.

Берёза Павел Георгиевич – ассистент кафедры городского строительства и хозяйства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод.

Жуков Олег Эдуардович – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод.

Насонкіна Надія Геннадіївна – доктор технічних наук, професор кафедри міського будівництва і господарства ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: системи водопостачання і водовідведення, екологічна безпека систем водопостачання.

Феськова Олена Олександрівна – асистент кафедри проектування будівель та будівельної фізики ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: встановлення і формування водоохоронної зони та прибережної захисної смуги водних об'єктів.

Береза Павло Георгійович – асистент кафедри міського будівництва і господарства ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очистка стічних вод.

Жуков Олег Едуардович – студент ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очистка стічних вод.

Nasonkina Nadiy – D. Sc. (Eng.), Professor, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: water and wastewater treatment, ecological safety of the water systems.

Feskova Elena – Assistant, Building Design and Construction Physics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: establishment and formation of a water protection zone and a coastal protection strip of water bodies.

Bereza Pavel – Assistant, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: waste water treatment.

Zhukov Oleg – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: waste water treatment.

УДК 504

Т. С. БАШЕВАЯ, А. С. ПАНТЮХИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ СКА НА ПОЧВОГРУНТЫ ГОРОДОВ

Аннотация. В работе приведены исследования влияния отходов сернокислого электролита, как основного компонента аккумуляторных батарей, на почвогрунты. Проведен соцопрос относительно способов обращения с отходами отработанных аккумуляторов среди автомобилистов. Исследования влияния отходов СКА на почвы проводились для условий чернозема степной зоны. В работе определена закономерность распределения сульфат-ионов в момент попадания в почву отходов аккумуляторного электролита. Представлена динамика изменения концентрации сульфат-ионов в почвенном слое в течение временного промежутка. Выявлено нарушение кислотно-щелочного равновесия. Представлены результаты определения pH солевой суспензии и гидролитической кислотности почвы. В результате изменения кислотно-основных свойств грунта нарушаются процессы минерализации и гумификации остатков растительности, что приводит к снижению темпа накопления гумуса. Представлена динамика снижения содержания гумуса в почвенном слое после разлива отходов аккумуляторного электролита.

Ключевые слова: отходы, деградация почв, свинцово-кислотные аккумуляторы, сернокислый электролит, гумус, кислотность почв, тяжелый металлы.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Благополучие городской среды во многом зависит от развитости автомобильной отрасли. Быстрое развитие различных видов автотранспорта обусловлено в первую очередь принципами экономической целесообразности. Автомобильный транспорт позволяет осуществлять грузоперевозки с высокой скоростью, гибкостью логистических систем и относительно невысокой стоимостью погрузочно-разгрузочных терминалов. В то же время неотъемлемой частью автомобиля (как оборудованных двигателями внутреннего сгорания, так и электромобилей) является аккумуляторная батарея. По степени опасности ДНР является наиболее загрязненной территорией: только на территории г. Донецка установлено 209 зон химического загрязнения почв на площади 50,7 км², что составляет 15,3 % общей территории города. Наблюдается загрязнение тяжелыми металлами, нарушение кислотно-щелочного равновесия и физико-механических свойств (пониженная влагоемкость, повышенная уплотнённость почвы, каменистость), характерна также слабая обеспеченность почвы питательными элементами, что связано с интенсивной техногенной нагрузкой. Эколо-геохимическое картирование почв, проведенное в пределах Донецко-Макеевского района (более 1 000 км²), показало, что изменение химического состава почвы под влиянием различных техногенных процессов произошло практически по всей обследованной территории, что характерно также для всего региона в целом. Почти на 50 % площадей химического загрязнения почв достигают средней, высокой и чрезвычайно высокой степени [1].

Согласно прогнозам аналитической компании Freedonia Group, спрос на первичные и вторичные (заряжаемые) аккумуляторные батареи будет расти на 7,7 % в год. Аккумуляторные батареи, отслужившие свой ресурс, переходят в категорию «отходы», а если быть точными, – категорию «опасные отходы», включающие в себя опасные жидкые (загрязненная серная кислота) и твердые (соединения свинца) отходы. Соответственно, можно прогнозировать увеличение количества аккумуляторных батарей, требующих утилизации. Уже на сегодняшний день, если брать во внимание только автомобильные аккумуляторные батареи, выбрасывается порядка 3 млн единиц в год. Это примерно 80...90 тыс. тонн свинца и его соединений, около 21 тыс. тонн раствора серной кислоты и приблизительно 10 тыс. тонн других составляющих [1].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Проблемой влияния на почву опасных отходов занимались многие ученые. Были проведены исследования влияния нефтяного загрязнения на эколого-биологическое состояние различных типов почв с помощью метода определения дыхательной активности микробоценозов [2]. В работе [3], установлено, что загрязнение почв нефтепродуктами существенно меняет ее морфологические признаки, влияет на свойства, определяющие ее плодородные и экологические функции. Был проведен ретроспективный обзор зарубежных исследований влияния пестицидов на физико-химические и микробиологические свойства почвенного покрова и возможность накопления пестицидов в почве [4]. Уровень техногенного загрязнения почв ДНР исследован в работе [5]. Также проблема загрязнения почв территории ДНР опасными отходами рассмотрена в работе Д. Н. Слипченко [6].

Цель: изучение влияния отходов аккумуляторных батарей на почвогрунты.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Согласно Приказу Госкомэкополитике при Главе ДНР № 713 от 25.11.2019 г. «Об утверждении Государственного классификатора отходов Донецкой Народной Республики» свинцово-кислотные аккумуляторы относятся к высокопасным отходам [7]. В состав свинцово-аккумуляторной батареи входят: свинец и его сплавы – 34 % по массе, неорганические соединения свинца – 31 %, серная кислота – 34 % [8]. Именно эти компоненты являются опасными загрязнителями природной среды по истечению срока эксплуатации автомобильных аккумуляторов. В результате проведенных опросов среди автомобилистов, получены следующие данные относительно способов обращения с отработанными батареями: аккумуляторы выбрасывают в общий мусор – 20 %, ведут упорядоченный сбор и сдачу – 14,3 %, владельцы сдают в частном порядке – 48,6 % и в 17,1 % случаев вопрос остался невыясненным. Таким образом, прослеживается четкая тенденция поступления отходов СКА, принадлежащих по степени токсичности ко II классу опасности, в общий мусор, а следовательно, повышение риска загрязнения почвы соединениями свинца и аккумуляторным электролитом.

Электролит отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов состоит из 28...34 % раствора серной кислоты, содержащего примеси тяжелых металлов железа 0,01...0,05 % масс.; меди 0,0008...0,0016 % масс.; марганца 0,00006...0,00014 % масс.; хлористых соединений 0,0002...0,0006 % масс.; свинца (во взвешенном состоянии) 0,2...2,0 % масс.; свинца (в растворенном состоянии) 0,0005...0,001 % масс. Необходимо отметить, что отработанный сернокислый автомобильный раствор содержит 99,7 % ионов свинца во взвешенном состоянии в виде сульфата свинца [1].

Экспериментальные исследования по изучению влияния разлива аккумуляторной кислоты на почву проводились для почв Донбасса: степного чернозема. В составе чернозема находится минимальное количество серы доступной растениям: в среднем в верхнем слое содержится 34,8 мг/100 г почвы. По классификации агрохимической службы концентрация сульфат-ионов в черноземах находится в пределах 0,32 мг/100 г почвы.

Попадание в почву отходов сернокислого электролита существенно меняет картину распределения сульфат-иона (SO_4^{2-}). По экспериментальным данным максимальная концентрация сульфат-ионов в момент разлива аккумуляторного электролита достигает в верхнем слое почвенного горизонта величины 468,7 мг/100 г почвы. С течением времени техногенные компоненты загрязнения проникают в нижележащие горизонты: через год после разлива, в верхнем горизонте почвы, толщина которого составляет 10 см, содержание сульфатов уменьшилось почти в два раза и достигло концентрации 251,5 мг/100 г почвы. Снижение концентрации сульфат-ионов в поверхностном слое почвы (0...10 см) происходит по степенной зависимости $y = 453,13x^{-0,72}$ (рис. 1).

Построенная прогнозная оценка (рис. 1) позволяет предположить, что через 5 лет концентрация сульфатов снизится в 3 раза по сравнению с моментом попадания электролита на поверхность грунта. Однако предполагаемая концентрация через пятилетний промежуток будет в 200 раз превышать рекомендуемые агрохимические нормы (0,6...0,9 мг/100 г) по подвижной сере [9].

Попадание в грунт сернокислых отходов аккумуляторных батарей приводит к значительным изменениям кислотноосновных свойств почвы. В рамках проведения исследований определялись: pH солевой суспензии и гидролитическая кислотность (H_r). Гидролитическая кислотность почв (H_r) обусловлена ионами водорода, которые очень прочнодерживаются коллоидным комплексом и могут быть вытеснены гидролитически щелочной солью (1M CH_3COONa). Из экспериментальных материалов следует, что в начальный период загрязнения наибольший процесс подкисления обнаружен в поверхностных горизонтах почв. pH солевой вытяжки снижается с фоновых значений 6,8...7,1

до значений $\text{pH} = 3,1$. Через год после разлива серной кислоты величина pH солевой суспензии не-значительно повышается, до значений $\text{pH} = 4,0$.

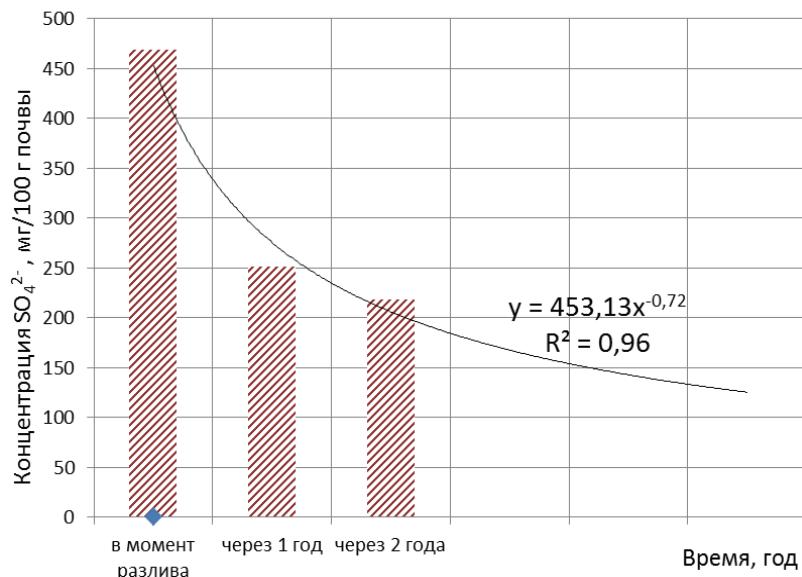


Рисунок 1 – Динамика изменения концентрации сульфат – ионов в почвенном слое.

В верхнем горизонте исследуемых степных чернозёмов гидролитическая кислотность равна 0,41 мг-экв/100 г почвы. В момент попадания на почву отходов аккумуляторного электролита значения Нg увеличиваются более чем в 20 раз по сравнению с фоновыми показателями до величины 9,2 мг-экв/100 г почвы. Через 1 и 2 года после разлива аккумуляторного электролита показатель гидролитической кислотности почвы значительно понижается и составляет 3,4 мг-экв/100 г и 2,8 мг-экв/100 г соответственно (рис. 2).

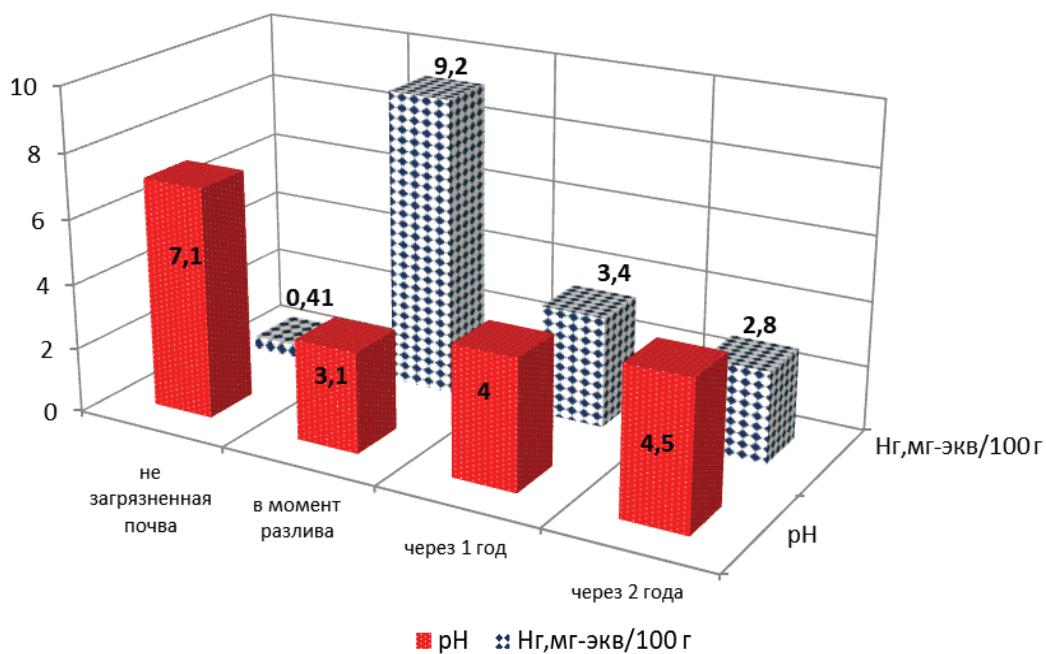


Рисунок 2 – Изменение кислотности почвы вследствие попадания на поверхность отходов аккумуляторного электролита.

От концентрации водородных ионов зависит величина ферментативной активности почв. А в результате ее изменения нарушаются процессы минерализации и гумификации остатков растительности, это приводит к снижению темпа накопления гумуса. При исследовании чернозема степной зоны содержание гумуса в верхнем слое почвы составило 4,46...6,70 %. В момент попадания отходов электролита на грунт наблюдалось уменьшение гумуса более чем в 2 раза. В последующие временные промежутки наблюдается ухудшение ситуации и дальнейшее постепенное снижение содержания почвенного гумуса. Можно предположить, что одной из причин снижения содержания гумуса является растворение некоторых фракций гумусовых веществ под воздействием кислоты и миграция их по грунтовым профилям (рис. 3).

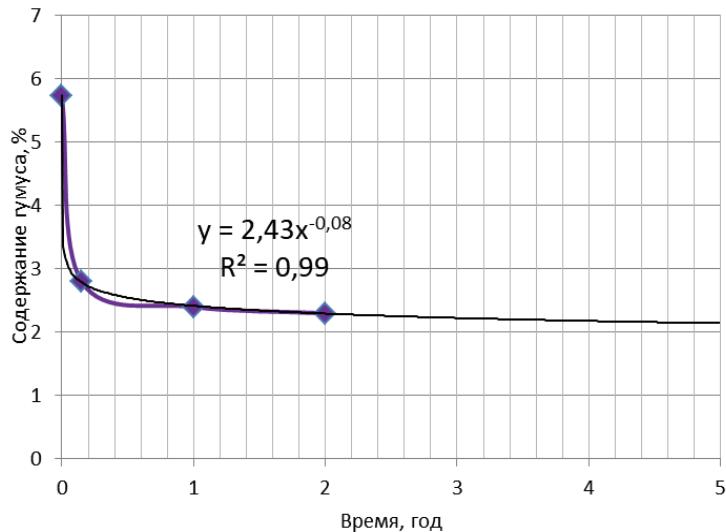


Рисунок 3 – Динамика снижения содержания гумуса в почвенном слое после разлива отходов аккумуляторного электролита.

ВЫВОДЫ

В процессе изучения влияния отходов свинцово-кислотных аккумуляторов на почвогрунты выявлено, что попадание в окружающую среду аккумуляторного электролита и соединений свинца влечет за собой значимые изменения в физико-химическом составе почвы. Существенно меняется картина распределения сульфат-иона, происходят значительные изменения кислотноосновных свойств почвы, темпы накопления гумуса уменьшаются. Согласно прогнозу на основе динамики изменения концентрации сульфат – ионов в почвенном слое, предполагаемая концентрация через пятилетний промежуток будет в 200 раз превышать рекомендуемые агрохимические нормы. Бесконтрольный слив электролита в почву приводит к существенной ее деградации. Одна тонна отходов сернокислого аккумуляторного электролита выводит из оборота 1 га земли, которая становится непригодной для земледелия на 5–10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Фроль, А. С. Сернокислые отходы аккумуляторных батарей-государственная экологическая проблема Украины [Текст] / А. С. Фроль, Т. С. Башевая, А. Г. Яценко // Екологічна безпека держави : матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів (2000 р., Київ). – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – С. 6.
- Влияние нефтяного загрязнения на эколого-биологическое состояние различных типов почв [Текст] / А. А. Вершинин, А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, Ю. А. Игнатьев // Вестник казанского технологического университета. – 2012. – № 8. – С 207–210.
- Дусабимана, П. О. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды [Текст] / П. О. Дусабимана // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития : материалы международной научно-практической конференции (29 апреля 2020 г., Вологда). – Вологда : ООО «Маркер», 2020. – С. 9–11.
- Рыгалов, А. С. Влияние пестицидных загрязнителей на физико-химические показатели почв [Текст] / А. С. Рыгалов // «Время открытий» научно-исследовательский журнал discovery-time.ru. – 2019. – № 5. – С 14–24.

5. Интегральная гигиеническая оценка технологического загрязнения почв в современных условиях Донбасса [Текст] / С. В. Грищенко, И. С. Грищенко, В. С. Костенко [и др.] // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2018. Т– № 4. – С. 60–66.
6. Слипченко, Д. Н. Проблема загрязнения почв на территории ДНР [Текст] / Д. Н. Слипченко // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2019. – № 1(2). – С 261–264.
7. Об утверждении Государственного классификатора отходов Донецкой Народной Республики [Текст] : Приказ Госкомэкологии при Главе ДНР № 713 от 25.11.2019 г. – 346 с. – Режим доступа : http://doc.dnronline.su/wp-content/uploads/2019/12/PrikazGK_EkologyN713_25112019.pdf.
8. Башевая, Т. С. Определение экологических критериев риска при обращении с сернокислыми отходами аккумуляторных батарей [Текст] / Т. С. Башевая // Проблемы экологии. – 2013. – № 1(31). – С 35–41.
9. Середина, В. П. Влияние разлива серной кислоты на экологические функции почв [Текст] / В. П. Середина, Н. Ф. Протопопов // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – № 5. – С. 58–62.

Получена 23.10.2020

Т. С. БАШЕВА, А. С. ПАНТЮХІНА
ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІДХОДІВ СКА НА ПОЧВОГРУНТИ МІСТ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі проаналізовані дані проведених досліджень впливу сірчаної кислоти і сполук свинцю, як основних компонентів акумуляторних батарей, на різні почвогрунти і функції ґрунту. У процесі дослідження проаналізовано забруднення ґрунту важкими металами, порушення кислотно-лужної рівноваги і фізико-механічних властивостей. Виявлено максимальну концентрацію сульфат-іонів в момент розливу акумуляторного електроліту. Представлені динаміка зміни концентрації сульфат-іонів в ґрутовому шарі протягом часового проміжку в п'ять років, результати визначення pH сольової суспензії і гідролітичної кислотності в верхньому горизонті степових чорноземів. Проаналізовано динаміку зниження вмісту гумусу в ґрутовому шарі після розливу відходів акумуляторного електроліту і взаємозв'язок забруднення солями важких металів і акумуляторним електролітом з родючістю ґрунту та урожайністю сільськогосподарських культур.

Ключові слова: відходи, деградація ґрунтів, свинцево-кислотні акумулятори, сірчанокислий електроліт, гумус, кислотність ґрунтів, важкі метали.

TATIANA BASHEVAYA, ANGELICA PANTYUKHINA
STUDY OF THE INFLUENCE OF SKA WASTE ON THE SOILS OF CITIES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper analyzes the data of the studies carried out on the effect of sulfuric acid and lead compounds, as the main components of storage batteries, on various layers and functions of the soil. In the course of the study, soil contamination with heavy metals, violation of acid-base balance and physical and mechanical properties were analyzed. The maximum concentration of sulfate ions was revealed at the time of the battery electrolyte spill. The dynamics of changes in the concentration of sulfate ions in the soil layer during a time interval of five years, the results of determining the pH of salt suspension and hydrolytic acidity in the upper horizon of steppe chernozems are presented. The dynamics of the decrease in the humus content in the soil layer after the spill of battery electrolyte waste and the relationship between pollution by salts of heavy metals and battery electrolyte with soil fertility and crop productivity are analyzed.

Key words: waste, soil degradation, lead-acid batteries, sulfuric acid electrolyte, humus, soil acidity, heavy metals.

Башевая Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: управление отходами и технологии рециклиинга как методы обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития; повышение экологической безопасности в строительстве и коммунальном хозяйстве.

Пантохина Анжелика Сергеевна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экологически безопасные способы обращения с отходами.

УДК 628.477:615.46/.47

В. Н. РАДИОНЕНКО^a, М. В. ДЕМИН^b

^a ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^b ГО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПЕРЕРАБОТКИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКИ, ТРУБОК И ФИКСАЖНЫХ РАСТВОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ (ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос, связанный с переработкой и утилизацией рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов на территории Донецкой Народной Республики. Проанализированы наиболее популярные подходы к извлечению серебра из рассматриваемого сырья, сопоставлены способы и методы с учётом их достоинств и недостатков. Помимо широко распространённых подходов, применяемых на территории Российской Федерации, также учтён международный опыт, являющийся актуальным на сегодняшний день. Приводится информация о создании инновационных технологий для извлечения серебра, на основании чего предложены некоторые рекомендации. Обоснована необходимость создания специализированной организации на территории Донецкой Народной Республики, которая позволит медучреждениям вовремя избавляться от накопления рассматриваемых отходов. Организация имела бы право осуществлять деятельность в сфере переработки и утилизации рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов. Для реализации предложенных способов по недопущению образования излишних рассматриваемых отходов возникает необходимость принятия соответствующих решений на законодательном уровне.

Ключевые слова: отходы, утилизация, переработка, серебро, химические способы, цементация, экологическая безопасность.

ЦЕЛЬ

Анализ и обоснование проблемы утилизации и переработки рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов как приоритетной задачи для избавления медучреждений от накопления рассматриваемых отходов и возможности получения серебра.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

События 2014 года внесли определённые корректизы в работу, пожалуй, всех предприятий и организаций, находящихся на территории ДНР, независимо от видов деятельности и форм собственности. Не исключением явилось функционирование компаний, имеющих возможности утилизировать и перерабатывать рентгеновскую пленку, трубы и фиксажные растворы.

По информации, полученной из государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при главе Донецкой Народной Республики, пункты приема и переработки вышеперечисленного сырья – отсутствуют. Таким образом, все медучреждения, оказывающие услуги в области рентгенографии, обязаны накапливать и хранить отработанный материал до особого распоряжения.

Как известно, радиоактивные элементы, входящие в состав рентгеновской пленки соответствуют всем показателям вредности. Отработанная, просоченная, засвеченная пленка, её обрезки и снимки относятся к медицинским отходам класса Д.

Все фотографические материалы состоят из светочувствительных эмульсионных вспомогательных слоев и подложки. В качестве последней применяются высокополимерные пленки, стекло и

Башева Тетяна Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: управління відходами та технології рециклінгу як методи забезпечення екологічної безпеки і сталого розвитку; підвищення екологічної безпеки в будівництві і комунальному господарстві.

Панюхіна Анжеліка Сергіївна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: екологічно безпечні способи поводження з відходами.

Bashevaya Tatiana – Ph. D. (Eng.), Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: waste management and recycling technologies as methods of ensuring environmental safety and sustainable development; improving environmental safety in construction and municipal services.

Pantyukhina Angelica – Master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: environmentally friendly methods of waste management.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| РАДИОНЕНКО В. Н., ДЕМИН М. В. О перспективах переработки рентгеновской пленки, трубок и фиксажных растворов на территории Донецкой Народной Республики (ДНР) | 5 |
| ТРЯКИНА А. С. Оценка рисков функционирования систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса | 11 |
| ГУТАРОВА М. Ю. Использование канализационных стоков как путь решения нерационального водопотребления | 17 |
| РИПНАЯ М. М., СЕРДЮК А. И., ВАРХАЛЁВ Ю. П. Влияние концентрации кислоты в борфтористоводородном электролите на его экологические и эксплуатационные параметры при электрохимической переработке утильных автомобильных аккумуляторов | 23 |
| ГОЛОВАТЕНКО Е. Л. Исследование технологии обработки кислых шахтных вод | 32 |
| ШЕЙХ А. А. Эколого-экономическое обоснование эффективности и целесообразности переработки отходов в границах строительной площадки | 42 |
| ДОСТОВАЛОВА Д. А., ПОДГОРОДЕЦКИЙ Н. С., ЧУДАЕВА Г. В. Оценка возможности сырьевого использования породного отвала шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь» | 48 |
| ОЛЕКСЮК А. А., ПЛУЖНИК А. В., КЛЯУС Б. В. Анализ устройств, измеряющих параметры микроклимата в помещении с периодическим отоплением | 53 |
| ПАВЛЮЧЕНКО А. С., ГРИГОРЕНКО Н. И. Современные тенденции в проектировании насосных станций для закачки стоков в пласт | 59 |
| УДОВИЧЕНКО З. В., САВИЧ Д. В. Методы расчета теплообмена в контактных аппаратах | 62 |
| ВЫБОРНОВ Д. В., КЛЯУС Б. В., ПЛУЖНИК А. В. Анализ основных параметров формирования воздушных приточных струй | 68 |
| ВЫСОЦКИЙ С. П., ДАРИЕНКО О. Л. Электрохимическая регенерация поглотителя диоксида серы из дымовых газов | 79 |
| САМОЙЛОВА Е. Э., ФАРАФОНОВА Ю. В. Воздействие свойств дорожных одежд на степень экологической безопасности дороги | 87 |
| НАСОНКИНА Н. Г., ФЕСЬКОВА Е. А., БЕРЁЗА П. Г., ЖУКОВ О. Э. Анализ и разработка зон санитарной охраны для объектов водоснабжения (на примере кипажа) | 92 |
| БАШЕВАЯ Т. С., ПАНТИХИНА А. С. Изучение влияния отходов СКА на почвогрунты городов | 101 |

Статьи, публикуемые в журнале «Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры», размещены

- в российской информационно-аналитической системе –
Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- в электронно-библиотечной системе IPRbooks
- в информационно-поисковой системе Google Scholar.

ЗМІСТ

| | |
|--|-----|
| РАДІОНЕНКО В. М., ДЬОМІН М. В. Про перспективи переробки рентгенівської плівки, трубок і фіксажних розчинів на території Донецької Народної Республіки (ДНР) | 9 |
| ТРЯКІНА А. С. Оцінка ризиків функціонування систем водопостачання та водовідведення міст Донбасу | 11 |
| ГУТАРОВА М. Ю. Використання каналізаційних стоків як шлях вирішення нераціонального водоспоживання | 17 |
| РІПНА М. М., СЕРДЮК О. І., ВАРХАЛЬОВ Ю. П. Вплив концентрації кислоти в борфтористо-водневому електроліті на його екологічні та експлуатаційні параметри при електрохімічній переробці утильних автомобільних акумуляторів | 23 |
| ГОЛОВАТЕНКО К. Л. Дослідження технології обробки кислих шахтних вод | 32 |
| ШЕЙХ О. О. Екологіко-економічне обґрунтування ефективності та доцільності переробки відходів у межах будівельного майданчика | 42 |
| ДОСТОВАЛОВА Д. О., ПОДГОРОДЕЦЬКИЙ М. С., ЧУДАЄВА Г. В. Оцінка можливості сировинного використання породного відвалу шахти ім. М. І. Калініна ДП «Макіїввугілля» | 48 |
| ОЛЕКСІОК А. О., ПЛУЖНИК А. В., КЛЯУС Б. В. Аналіз пристрій, що вимірюють параметри мікроклімату в приміщенні з періодичним опалюванням | 53 |
| ПАВЛЮЧЕНКО О. С., ГРИГОРЕНКО Н. І. Сучасні тенденції в проектуванні насосних станцій для закачування стоків в пласт | 59 |
| УДОВИЧЕНКО З. В., САВІЧ Д. В. Методи розрахунку теплообміну в контактних апаратах | 62 |
| ВИБОРНОВ Д. В., КЛЯУС Б. В., ПЛУЖНИК А. В. Аналіз основних параметрів формування повітряних припливних струменів | 68 |
| ВИСОЦЬКИЙ С. П., ДАРІЄНКО О. Л. Електрохімічна регенерація поглинача діоксиду сірки з димових газів | 79 |
| САМОЙЛОВА О. Е., ФАРАФОНОВА Ю. В. Вплив властивостей дорожніх одягів на ступінь екологічної безпеки дороги | 87 |
| НАСОНКІНА Н. Г., ФЕСЬКОВА О. О., БЕРЕЗА П. Г., ЖУКОВ О. Е. Аналіз і розробка зон санітарної охорони для об'єктів водопостачання (на прикладі каптажу) | 92 |
| БАШЕВА Т. С., ПАНТЮХІНА А. С. Вивчення впливу відходів СКА на почвогрунти міст | 101 |

Статті, що публікуються у журналі «Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури», розміщені

- в російській інформаційно-аналітичній системі – Російський індекс наукового цитування (РІНЦ)
- в електронно-бібліотечній системі IPRbooks
- в інформаційно-пошуковій системі Google Scholar.

CONTENTS

| | |
|--|-----|
| RADIONENKO VITALY, DOMIN MYKHAILO. On the Prospects for the Processing of X-Ray Film, Tubes and Fixing Solutions in the Territory of the Donetsk People's Republic (DPR) | 5 |
| TRYAKINA ALYONA. Assessment of Risks of Functioning of Water Supply and Sewage Systems of the Cities of Donbas | 11 |
| GUTAROVA MARINA. Use of Sewage as a Way to Solve the Irrational Water Consumption of | 17 |
| RIPNA MARGARITA, SERDYUK ALEXANDER, VARKHALEV YURIY. Influence of Acid Concentration in Hydrofluoric Acid Electrolyte on its Environmental and Operational Parameters During Electrochemical Processing of Waste Car Batteries | 23 |
| GOLOVATENKO EKATERINA. Research of Acid Mine Water Treatment Technology | 32 |
| SHEIKH ALEXANDRA. Ecological and Economic Justification of the Efficiency and Expediency of Waste Processing within the Boundaries of the Construction Site | 42 |
| DOSTOVALOVA DARIA, PODGORODETSKY NICHOLAS, CHUDAEVA GALINA. Assessment of the Possibility of Raw Material use of the Waste Dump of the Mine M. I. Kalinina State Enterprise «Makeevcoal» | 48 |
| OLEKSYUK ANATOLIY, PLUZHNIK ANASTASIA, BOGDAN KLYAUS. Analysis of Devices that Measure Microclimate Parameters in a Room with Periodic heating | 53 |
| PAVLUCHENKO ALEKSANDR, GRIGORENKO NADEZHDA. Modern Trends in the Design of Pumping Stations for Wastewater Injection in the Deep Layer | 59 |
| UDOVICHENKO ZLATA, SAVICH DARYA. Method of Heat Transfer in Contact Devices | 62 |
| VYBORNOV DMITRY, KLYAUS BOGDAN, PLUZHNIK ANASTASIA. Analysis of the Main Parameters of the Formation of Air Supply Jets | 68 |
| VYSOTSKY SERGEY, DARIENKO OKSANA. Improvement of Gas Cleaning Processes for Thermal Power Plants from Sulfur Dioxide using Electro Dialysis Technology | 79 |
| SAMOJLOVA HELEN, FARAFONOVA YILIYA. Impact of the Properties of Road Pavements on the Degree of Environmental Safety of the Road | 87 |
| NASONKINA NADIY, FESKOVA ELENA, BEREZA PAVEL, ZHUKOV OLEG. Analysis and Development of Sanitation Protection Zones for Water Supply Objects (on the Example of Captage) | 92 |
| BASHEVAYA TATIANA, PANTYUKHINA ANGELICA. Study of the Influence of SKA Waste on the Soils of Cities | 101 |

The articles published in journal «Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture» are indexed by:

- the Russian Information and Analytical System – Russian Science Citation Index (RSCI)
- the electronic-library system IPRbooks
- the search engine Google Scholar.