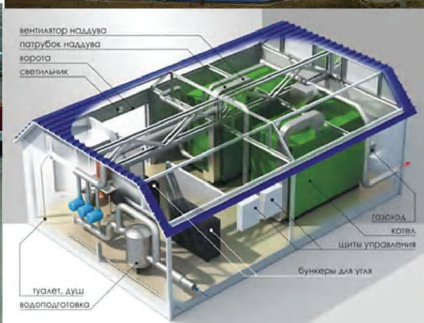
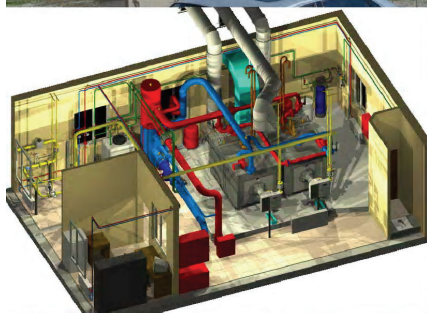


ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



Выпуск 2021-5(151)

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры”

ВЕСТНИК

**Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издается с декабря 1995 года
Выходит 8 раз в год

Выпуск 2021-5(151)

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Макеевка 2021

ДООУ 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 2021-5(151)

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ
ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2021

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 № 3 от 25.10.2021 г.

Редакционный совет:

Горохов Е. В., д. т. н., профессор – главный редактор;

Мушанов 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;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Лукьянов А. В., д. т. н., профессор;

Мушанов В. Ф., д. т. н., профессор;

Найманов А. Я., д. т. н., профессор;

Насонкина Н. Г., д. т. н., профессор;

Нездойминов В. И., д. т. н., профессор;

Олексюк А. А., д. т. н., профессор;

Сердюк А. И., д. т. н., профессор;

Удовиченко З. В., к. т. н., доцент;

Югов А. М., д. т. н., профессор

Корректоры Л. М. Лещенко, Е. В. Гнездилова

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 15.11.2021

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», 2021

Засновник і видавець

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Свідчення 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

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Протокол № 3 від 25.10.2021 р.

Редакційна рада:

Горохов Є. В., д. т. н., професор – головний редактор;

Мушанов 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;

Горохов Є. В., д. т. н., професор;

Лук'янов О. В., д. т. н., професор;

Мушанов В. П., д. т. н., професор;

Найманов А. Я., д. т. н., професор;

Насонкина Н. Г., д. т. н., професор;

Нездоймінов В. І., д. т. н., професор

Олексюк А. О., д. т. н., професор;

Сердюк О. І., д. т. н., професор;

Удовиченко З. В., к. т. н., доцент;

Югов А. М., д. т. н., професор

Коректори Л. М. Лещенко, О. В. Гнездилова

Програмне забезпечення С. В. Гавенко

Комп'ютерне верстання Є. А. Солодкова

Підписано до випуску 15.11.2021

Адреса редакції і видавця

86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,

ДООУ 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 включено 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

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

© ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», 2021

УДК 628.356

Д. В. ЗАВОРОТНЫЙ, А. М. УВАРОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
ЦИРКУЛЯЦИИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭРЛИФТНЫХ БИОРЕАКТОРАХ-
ОСВЕТИТЕЛЯХ**

Аннотация. В статье приводится сравнение цилиндрических (круглых в плане) и прямоугольных в плане эрлифтных биореакторов-осветлителей. Эрлифтные биореакторы-осветлители являются сооружениями для очистки сточных вод. В них происходят процессы биологической очистки при помощи активного ила, для обеспечения дыхания которого применяется затопленный эрлифт, и осветления иловой смеси во взвешенном слое ила. Проанализировано влияние интенсивности циркуляции иловой смеси в эрлифтных биореакторах на скорости восходящего потока в осветлителях. В программном комплексе FlowVision при помощи квадратичной k-ε модели турбулентности выполнено вычисление скоростей жидкости в исследуемых очистных сооружениях. На основании результатов вычислений, часть которых представлена в данной статье, получено теоретическое соотношение максимальных допустимых интенсивностей циркуляции в цилиндрических и прямоугольных в плане эрлифтных биореакторах-осветлителях.

Ключевые слова: эрлифтный биореактор, биореактор-осветлитель, FlowVision, очистка сточных вод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Эрлифтный биореактор-осветлитель для биологической очистки сточных вод (рисунок 1а) представляет собой ёмкость с конструктивными перегородками (наклонный козырёк 1 и стенки затопленного эрлифта 2) и аэратором 3. В результате подачи аэраторами воздуха, помимо обеспечения жизнедеятельности активного ила, осуществляется образование токов жидкости в сооружении: над аэраторами, между стенками затопленного эрлифта, возникает восходящий поток, а за пределами затопленного эрлифта – соответственно, нисходящий. Такое течение наблюдается и в эрлифтных биореакторах, не совмещённых с осветлителями [1]. Под наклонным козырьком образуется водоворотная зона, скорости течения в которой значительно меньше, чем скорости токов, циркулирующих через затопленный эрлифт. Восходящие токи водоворотной зоны поддерживают ил во взвешенном состоянии, а нисходящие способствуют обмену частицами ила с интенсивным нисходящим потоком эрлифтного биореактора [2, 3].

Теоретически, эрлифтный биореактор-осветлитель может иметь прямоугольную в плане (рисунок 1 а, б) либо цилиндрическую (рисунок 1 а, в) форму. Для прямоугольных в плане эрлифтных биореакторов-осветлителей получены зависимости [3] допустимой интенсивности циркуляции ($I_{ц(нр)}$, по формуле (1)) от гидравлической нагрузки на осветлитель ($q_{з(нр)}$ по формуле (2)).

$$I_{ц(нр)} = \frac{Q_a}{\omega_{j(нр)}} = \frac{Q_a}{B_j \cdot 2L}; \quad (1)$$

$$q_{з(нр)} = \frac{Q_a}{\omega_{с(нр)}} = \frac{Q_{см}}{B_c \cdot 2L}, \quad (2)$$

где Q_a – расход жидкости, циркулирующей через затопленный эрлифт, м³/ч;
 $Q_{см}$ – расход очищаемой сточной жидкости, м³/ч;

$\omega_{j(пр)}$ – площадь сечения в зазоре между наклонным козырьком и стенкой затопленного эрлифта, м^2 ;
 $\omega_{c(пр)}$ – условная площадь поперечного сечения осветлителя, м^2 ;
 B_c – условная ширина осветлителя, м ;
 B_j – ширина зазора между наклонным козырьком и стенкой затопленного эрлифта, м ;
 L – длина прямоугольного в плане эрлифтного биореактора-осветлителя, м (рис. 1).

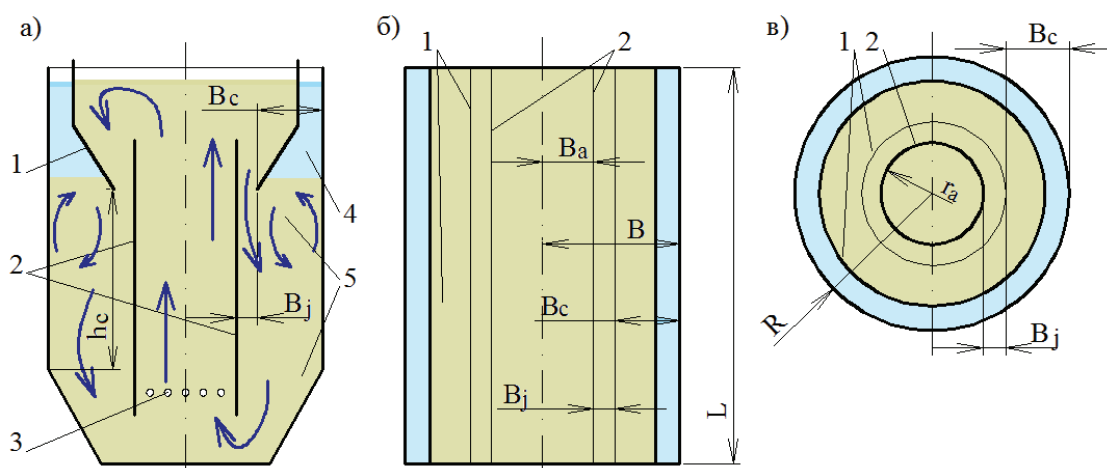


Рисунок 1 – Эрлифтный биореактор-осветлитель: а) вертикальный разрез с направлениями течения жидкости; б) план при прямоугольной форме; в) план при цилиндрической форме: 1 – наклонный козырёк; 2 – стенки затопленного эрлифта; 3 – аэраторы; 4 – осветлённая жидкость; 5 – активный ил.

Соотношения между допустимыми значениями интенсивности циркуляции ($I_{u(цил)}$ (формула (3)) и гидравлической нагрузки ($q_{z(цил)}$), формула (4)) в цилиндрических эрлифтных биореакторах-осветлителях на данный момент не исследованы.

$$I_{u(цил)} = \frac{Q_a}{\omega_{j(цил)}} = \frac{Q_a}{B_j(2r_a + B_j)}; \quad (3)$$

$$q_{z(цил)} = \frac{Q_a}{\omega_{c(цил)}} = \frac{Q_{cm}}{B_c(2R - B_c)}, \quad (4)$$

где r_a – радиус затопленного эрлифта, м ;
 R – радиус корпуса цилиндрического эрлифтного биореактора-осветлителя, м .

Перспективность применения цилиндрических эрлифтных биореакторов-осветлителей обуславливается, к примеру, удобством их конструирования из полимерных труб большого диаметра, однако ограничивается недостаточными исследовательскими данными, обеспечивающими правильный подбор гидродинамических параметров сооружения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время развитие вычислительной гидродинамики позволяет использовать методы численного моделирования как альтернативу эксперимента. Для численного моделирования течения жидкости широко используется разработанный в России программный комплекс FlowVision, эффективность которого доказана большим количеством хорошо зарекомендовавших себя примеров сопоставления численного моделирования и экспериментальных исследований [4].

При численном моделировании турбулентных течений ключевым моментом является выбор модели турбулентности, наиболее точно отображающей параметры токов в конкретных условиях. При расчёте гидродинамических параметров эрлифтных биореакторов-осветлителей в программном комплексе FlowVision рекомендуется применять стандартную квадратичную k-ε модель (KEQ) [5].

ЦЕЛЬ

Определить теоретическое отношение допустимых интенсивностей циркуляции в цилиндрических и прямоугольных в плане эрлифтных биореакторов-осветлителей.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для проведения расчётов построены геометрические модели расчётных областей цилиндрического (рис. 2) и прямоугольного в плане эрлифтных биореакторов-осветлителей со следующими размерами: $h_c = 192$ мм, $B_j = 30$ мм, $B_c = 95$ мм, $B_a = r_a = 20$ мм, $R = B = 145$ мм, $L = 455$ мм (обозначения геометрических параметров представлены на рис. 1). В качестве расчётных областей приняты пространства

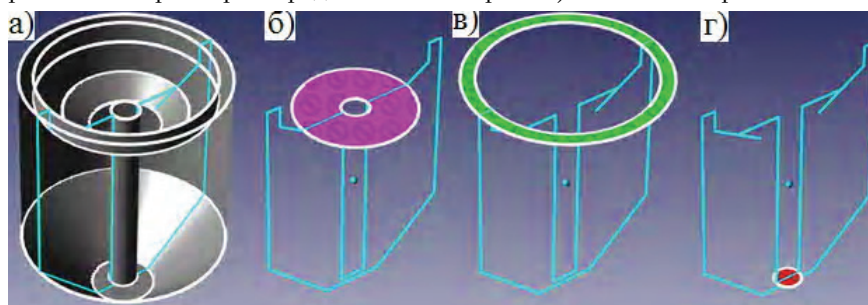


Рисунок 2 – Геометрическая модель цилиндрического эрлифтного биореактора-осветлителя в программном комплексе FlowVision: а) границы расчётной области, образованные твёрдыми стенками; б) сечение входа жидкости в расчётную область; в) свободная поверхность очищенной жидкости; г) выход в затопленный эрлифт.

внутри эрлифтных биореакторов-осветлителей, ограниченные: твёрдыми стенками (рис. 2а); горизонтальным сечением нисходящего потока эрлифтного биореактора (рис. 2б), расположенным между наклонным козырьком и стенкой затопленного эрлифта на уровне середины наклонного козырька; свободной поверхностью осветлённой жидкости (рис. 2в); сечением входа в затопленный эрлифт (рис. 2г).

На рисунке 3 представлены результаты расчёта в программном комплексе FlowVision величин скоростей воды в цилиндрическом эрлифтном биореакторе-осветлителе при интенсивности циркуляции $I_{ц(цил)} = 400$ м³/(м²·ч), что соответствует массовой скорости в сечении входа в расчётную область 21,9 кг/(м²·с). Интенсивность турбулентности принята $I_t = 0,5$, масштаб турбулентности назначен 0,0475, модель турбулентности – KEQ.

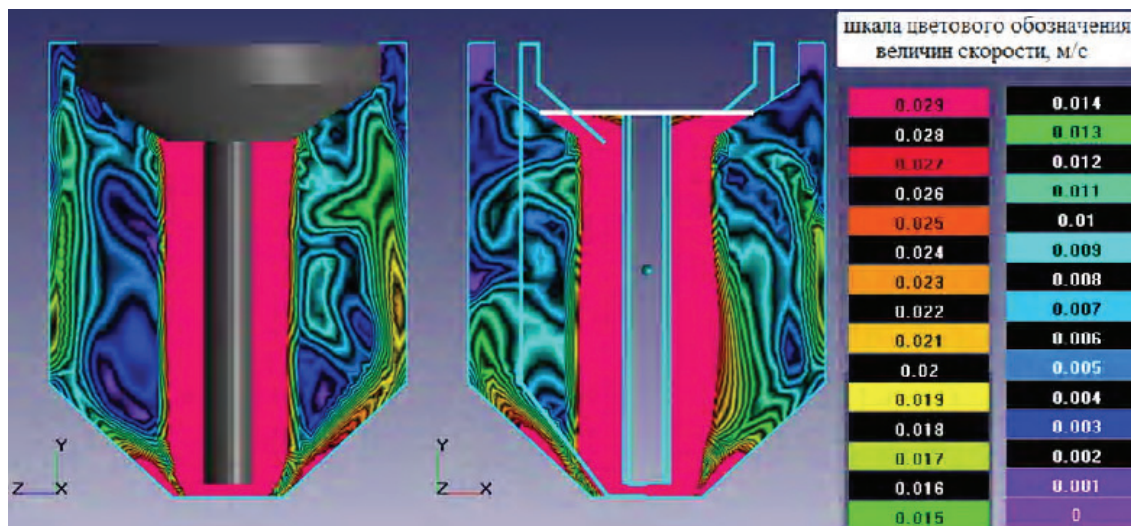


Рисунок 3 – Результаты вычислений скоростей по двум взаимоперпендикулярным плоскостям расчётной области цилиндрического эрлифтного биореактора-осветлителя в программном комплексе FlowVision при интенсивности циркуляции $I_{ц(цил)} = 400$ м³/(м²·ч).

Скорость восходящего потока в осветлителе, определяемая на глубине относительно низа козырька $h = h_c = 96$ мм как средняя из максимальных скоростей восходящих потоков по левой и правой стороне модели в каждой из взаимоперпендикулярных плоскостей (рис. 3), составила 12 мм/с.

Для определения теоретического соотношения допустимых интенсивностей циркуляции в прямоугольных в плане и цилиндрических эрлифтных биореакторах-осветлителях геометрическая модель прямоугольного в плане эрлифтного биореактора-осветлителя рассчитывалась с различными скоростями во входном сечении. При интенсивности циркуляции $I_{u(np)} = 200 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (рис. 4а) скорость в восходящем потоке расчётной области прямоугольного в плане эрлифтного биореактора-осветлителя на глубине $h = h_c = 96 \text{ мм}$ составила 26 м/с. При $I_{u(np)} = 130 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ скорость в восходящем потоке осветлителя составила 13 мм/с (рис. 4 б). При интенсивности циркуляции $I_{u(np)} = 120 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ скорость в восходящем потоке осветлителя составляет 12 мм/с (рис. 4 в), что соответствует скорости восходящего потока в осветлителе цилиндрического эрлифтного биореактора-осветлителя при сходственных размерах и интенсивности циркуляции $I_{u(цил)} = 400 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

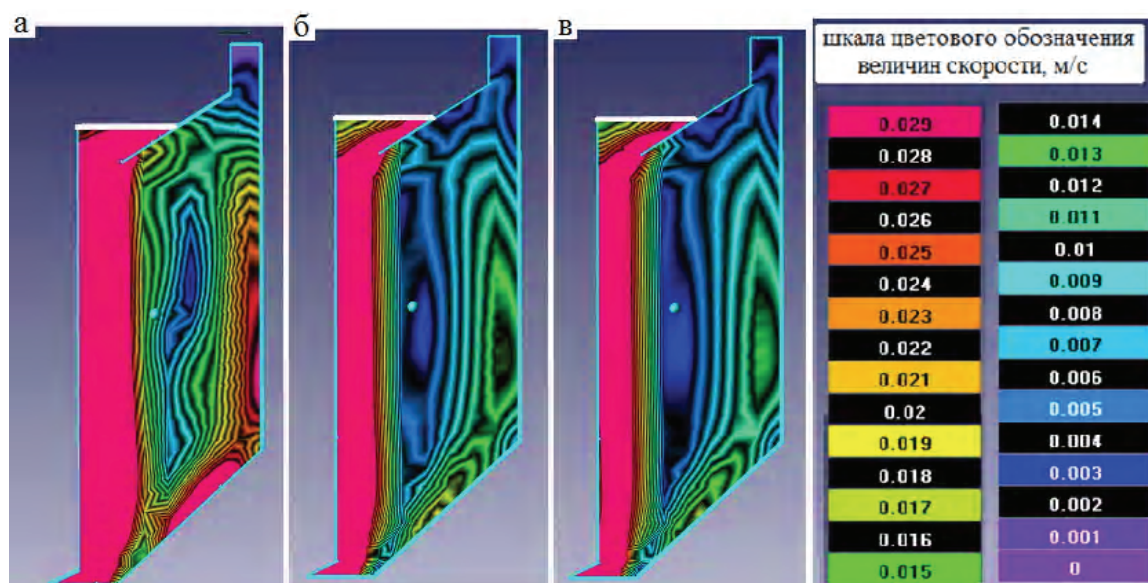


Рисунок 4 – Результаты вычислений скоростей в расчётной области прямоугольного в плане эрлифтного биореактора-осветлителя в программном комплексе FlowVision при интенсивности циркуляции:

а) $I_u = 200 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; б) $I_u = 130 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; в) $I_u = 120 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Отношение приводящих к образованию одинаковых скоростей в осветлителе интенсивностей циркуляции в цилиндрических и прямоугольных в плане моделях составило $I_{u(цил)}/I_{u(np)} = 400 / 120 = 3,33$. Аналогичные теоретические исследования при $I_{u(цил)} = 600 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и тех же геометрических параметрах привели к результату $I_{u(цил)}/I_{u(np)} = 600 / 150 = 4$. В обоих случаях повышение интенсивности циркуляции при переходе от прямоугольной к круглой в плане форме превышает вызванное этим увеличение соотношения между площадями ω_c и ω_j (для исследованных геометрических моделей $(\omega_{c(цил)}/\omega_{j(цил)})/(\omega_{c(np)}/\omega_{j(np)}) = 2,79$). Анализ общей картины скоростей на рис. 3, 4 свидетельствует о том, что в цилиндрических эрлифтных биореакторах-осветлителях имеет место менее равномерное снижение скорости восходящего потока по высоте и более сложный характер эпор скорости в горизонтальных сечениях. Таким образом, получение достоверной зависимости допустимой интенсивности циркуляции от гидравлической нагрузки и геометрических параметров цилиндрических эрлифтных биореакторов следует осуществлять не на основании известных зависимостей для эрлифтных биореакторов-осветлителей, а путём отдельных исследований.

ВЫВОД

Цилиндрические эрлифтные биореакторы-осветлители по сравнению с эрлифтными биореакторами-осветлителями, имеющими прямоугольную в плане форму, имеют в несколько раз (около 3–4) большую допустимую интенсивность циркуляции. При этом соотношение допустимых интенсивностей циркуляции в цилиндрических и прямоугольных в плане эрлифтных биореакторах-осветлителях не является постоянной величиной, а зависит от их геометрических и гидродинамических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Naidoo, N. Effects of sparger design on the gas holdup and mass transfer in a pilot scale external loop airlift reactor / N. Naidoo, W. J. Paucka, M. Carsky. – Текст : электронный // South African Journal of Chemical Engineering. – 2021. – V. 37. – P. 127–134. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.05.009> (дата обращения: 25.09.2021).
2. Рожков, В. С. Доочистка сточных вод на дробленном антраците в системах с эрлифтным биореактором / В. С. Рожков, П. Е. Дёминов, Ю. В. Васильева. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-4(144) Научно-технические достижения студентов строительного-архитектурной отрасли. – С. 87–90. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44068771> (дата публикации: 22.06.2020).
3. Заворотный, Д. В. Экспериментальное определение параметров моделирования аэротенков-осветлителей с затопленной эрлифтной системой аэрации / Д. В. Заворотный. – Текст : электронный // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2018. – № 10 (53). – С. 104–109. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35538794> (дата обращения: 22.09.2021).
4. CFD Modeling and Study of Additional Medium Jet Impact on the Blade of the Propeller / D. Osovskii, A. Sharatov, A. Gorbenko [et al.]. – Текст : электронный // Procedia Computer Science. – 2020. – V. 167. – P. 1096–1101. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.411> (дата обращения: 27.09.2021).
5. Заворотный, Д. В. Применение программного комплекса FlowVision для моделирования движения жидкости в эрлифтом биореакторе-осветлителе / Д. В. Заворотный, А. М. Уварова, Т. В. Панькова. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-3(149) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 61–64. – [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-3\(149\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-3(149).pdf) (дата публикации: 25.06.2021).

Получена 10.09.2021

Д. В. ЗАВОРОТНИЙ, О. М. УВАРОВА ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЇ В ЦИЛІНДРИЧНИХ ЕРЛІФТНИХ БІОРЕАКТОРАХ- ОСВІТЛЮВАЧАХ ДОНУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У статті наведено порівняння циліндричних (круглих в плані) та прямокутних в плані ерліфтних біологічних реакторів-освітлювачів. Ерліфтні біореактори-освітлювачі є спорудами для очищення стічних вод. В них відбуваються процеси біологічної очистки за допомогою активного мулу, для забезпечення дихання якого застосовується затоплений ерліфт, і освітлення мулової суміші в підвішеному шарі мулу. Проаналізовано вплив інтенсивності циркуляції мулової суміші в ерліфтних біореакторах на швидкості висхідного потоку в освітлювачах. У програмному комплексі FlowVision за допомогою квадратичної $k-\epsilon$ моделі турбулентності виконано обчислення швидкостей рідини в досліджуваних очисних спорудах. На підставі результатів обчислень, частина яких представлена у даній статті, отримано теоретичне співвідношення максимальних допустимих інтенсивностей циркуляції в циліндричних і прямокутних в плані ерліфтних біореакторах-освітлювачах.

Ключові слова: ерліфтний біореактор, біореактор-освітлювач, FlowVision, очистка стічних вод.

DMITRII ZAVOROTNYI, ALEXANDRA UVAROVA THEORETICAL DETERMINATION OF THE PERMISSIBLE CIRCULATION INTENSITY IN CYLINDRICAL AIRLIFT BIOREACTORS-CLARIFIERS Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article presents a comparison of cylindrical (round in plan) and rectangular in terms of airlift biological clarifier reactors. Airlift bioreactors-clarifiers are facilities for wastewater treatment. Biological purification processes take place in them with the help of activated sludge, to ensure the respiration of which a flooded airlift is used, and clarification of the sludge mixture in a suspended layer of sludge. The influence of the intensity of the sludge mixture circulation in airlift bioreactors on the upstream velocity in clarifiers is analyzed. In the FlowVision software package, using a quadratic $k-\epsilon$ turbulence model, the calculation of fluid velocities in the studied treatment facilities was performed. Based on the results of calculations, some of which are presented in this article, a theoretical ratio of the maximum allowable circulation intensities in cylindrical and rectangular airlift bioreactors-clarifiers is obtained.

Key words: airlift bioreactor, bioreactor-clarifier, FlowVision, waste water treatment.

Заворотный Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоотведение, механика жидкости и газа.

Уварова Александра Михайловна – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод.

Заворотний Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водовідведення, механіка рідини та газу.

Уварова Олександра Михайлівна – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очистка стічних вод.

Zavorotnyi Dmitrii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Water Conservation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sewerage, mechanics of fluids.

Uvarova Alexandra – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: wastewater treatment.

УДК 628.35

О. Н. КАЛИНИХИН

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-
БЫТОВЫХ СТОКОВ ОБЪЕКТА ТЕПЛОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

Аннотация. В представленной работе приведены результаты химического анализа сбрасываемых хозяйственно-бытовых сточных вод Старобешевской тепловой электростанции государственного унитарного предприятия Донецкой Народной Республики «Энергия Донбасса» на содержание взвешенных веществ, аммонийного азота, нитратов, нитритов и фосфатов за период 2019–2020 гг. Выявлены количественные и качественные изменения состава сбросов до и после прохождения систем очистки, показана недостаточная эффективность существующих систем полной биологической очистки бытовых сточных вод, требующей внедрения новых технологических решений, направленных прежде всего на очистку от соединений азота и фосфора. Даны рекомендации относительно внедрения технологии биологической очистки сточных вод с использованием бактерий анаммокс. В качестве мероприятий по дефосфотизации рекомендовано применение реагентного метода удаления фосфора с помощью коагуляции. Показаны основные преимущества и недостатки технологий, предлагаемых к внедрению, даны рекомендации относительно аппаратного оформления предлагаемых технических решений.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, нитрификация, концентрация, тепловая электростанция, анаммокс процесс.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема качественной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод малых населенных пунктов Донецкой Народной Республики является одной из актуальных природоохранных задач, стоящих перед муниципальными службами и городскими администрациями [1]. Особое значение данная проблема имеет для так называемых моногородов, т. е. населённых пунктов городского типа, основанных при градообразующем предприятии с целью обеспечения производственного процесса трудовыми ресурсами. Зачастую все коммунальное обеспечение населённых пунктов такого типа находится в ведении соответствующих служб крупных предприятий.

Типовым примером такого рода моногорода является поселок городского типа Новый Свет Донецкой Народной Республики, все аспекты жизнедеятельности данного населённого пункта связаны с одним единственным типом хозяйственной деятельности, а именно генерацией электрической энергии. При этом система очистки сточных вод населенного пункта и комплекс водоочистных сооружений являются составной частью водоочистной системы первого по величине генерации предприятия на территории Донецкого региона Старобешевской тепловой электростанции, осуществляющей очистку и сброс хозяйственно-бытовых стоков в Старобешевское водохранилище, имеющее, помимо основного назначения, важное рекреационное и природоохранное значение. Таким образом, эффективность работ водоочистных систем предприятия напрямую определяет качество воды гидротехнического объекта, используемой для нужд рыборазведения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Очистка стоков от биогенных элементов требуется в связи с тем, что соединения азота и фосфора вызывают процесс эвтрофикации водоемов [2]. При этом существующие канализационные коллекторы и очистные сооружения, спроектированные в прошлом веке, когда загрязнение воды биогенными элементами еще не было столь интенсивным, в настоящее время не могут справиться с задачей

эффективной очистки сточных вод от этих веществ [3]. Исследования по разработке методов модернизации существующих систем биологической очистки, создания новых типов биореакторов и биологических процессов по снижению концентраций биогенных элементов в городских и производственных сточных водах являются одним из передовых направлений развития природоохранных технологий [4].

Классическая технология биологической нитри-денитрификации по состоянию на сегодняшний день является наиболее распространенным методом денитрификации промышленных и бытовых стоков. При этом существующая технология обладает рядом недостатков, выражающихся в необходимости добавления дополнительных органических субстратов, активизирующих процесс денитрификации, в высокой сезонной нагрузке в виде аммонийного азота от сооружений обработки осадка и т. д. Альтернативой существующей практике стал метод очистки сточных вод от аммонийного азота, основанный на анаэробном окислении аммиака в процессе жизнедеятельности особых автотрофных бактерий *Planctomycetes* [5, 6].

Технология удаления фосфора – дефосфотизация, как правило, реализуется реагентными методами либо их сочетанием с биологической дефосфотизацией активного ила в специальных камерах уплотнителях, несмотря на высокую стоимость процесса, требующего привлечения дорогостоящих коагулянтов и извести.

Таким образом, вопрос использования передовых технологий проведения процесса удаления биогенных элементов из сточных вод является достаточно хорошо изученным и в настоящее время на рынке природоохранных технологий удаления биогенных веществ из сточных вод присутствует целый ряд конкурентных направлений.

Цель работы – обоснование модернизации технологии извлечения биогенных элементов из хозяйственно-бытовых стоков Старобешевской тепловой электростанции.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи исследования:

1. Рассмотреть существующую схему очистки стоков Старобешевской тепловой электростанции на предмет извлечения биогенных элементов.
2. Исследовать качественные и количественные характеристики сбрасываемых хозяйственно-бытовых сточных вод до и после прохождения очистных сооружений.
3. Обосновать принятие технических мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на водную среду с учётом анализа данных относительно актуальных перспективных методов технической реализации очистки стоков от биогенных элементов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Существующая схема очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от населённых пунктов Новый Свет и Старобешево подразумевает последовательное прохождение ряда стандартных стадий очистки стоков по следующим этапам:

1. Прохождение улавливающих решёток предназначенных для задержания крупных твердых бытовых отходов на прутьях с зазорами 16 мм и 20 мм.
2. Отделение тяжелых минеральных примесей на горизонтальных песколовках с круговым движением воды, первичное отстаивание на очистных сооружениях.
3. Аэробная стабилизация, предназначенная для обработки органической части осадков с целью улучшения влагоотдачи и предупреждения загнивания.
4. Непосредственный процесс биологической очистки сточных вод.
5. Рециркуляции активного ила.

После биореакторов, хлорирования и контактных резервуаров очищенные сточные воды сбрасываются в Старобешевское водохранилище.

Таким образом, анализ существующей схемы очистки сточных вод показывает, что в ее составе предусмотрена лишь очистка от аммонийного азота, нитритов и нитратов по стандартной схеме биологической очистки, отсутствует какая-либо дополнительная стадия, связанная с доочисткой коммунально-бытовых стоков от фосфатов.

С целью исследования качественных и количественных характеристик сбрасываемых хозяйственно-бытовых сточных вод в течение летних месяцев 2019–2020 гг. производили отбор проб воды, в которых определяли содержание взвешенных веществ, аммонийного азота, нитратов, нитритов и фосфатов. Исследования проводили в производственной лаборатории предприятия. Материалом для исследований служили пробы сточных вод, сбрасываемых в Старобешевское водохранилище до и

после прохождения очистных сооружений. Отбор проб проводили в соответствии с требованиями стандартизированных методик. Содержание взвешенных веществ определяли гравиметрическим методом, концентрация ионов аммония определялась фотометрией по реакции с реагентом Несслера, содержание нитрит ионов определяли фотометрическим методом с реактивом Грисса, массовую концентрацию нитрат-ионов определяли фотометрическим методом с салициловой кислотой, измерение массовой концентрации фосфат-ионов проводилось фотометрическим методом восстановления аскорбиновой кислотой. Результаты анализа сравнивали с перечнем ПДК [7] вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного назначения.

Содержание взвешенных веществ в сточных водах в 2019 и 2020 г.г. не превышало допустимую концентрацию. Это означает, что степень очистки сточных вод по взвешенным веществам после песколовок и аэротенков является удовлетворительной.

Проведенные исследования содержания соединений азота свидетельствуют о превышении величины предельной концентрации для азота аммонийного, что означает, что процессы нитрификации, приводящие к окислению иона аммония, на очистных сооружениях протекают неэффективно.

Колебания в величинах содержания в очищенной воде нитратов и нитритов связано, с одной стороны, с неудовлетворительным протеканием процессов нитрификации, а с другой стороны – с протеканием процессов денитрификации. Если процессы нитрификации протекают в аэробных условиях в присутствии нитрифицирующих бактерий, то для денитрификации, т. е. восстановления нитрат-ионов до свободного азота, необходимы анаэробные условия и особая группа денитрифицирующих бактерий. Добиться высокой степени денитрификации возможно лишь при внедрении на очистных сооружениях блока анаэробного биологического восстановления нитратов, который в настоящее время отсутствует.

Данные таблиц 1 и 2 свидетельствуют, что содержание фосфатов, поступающих со сточными водами на очистку, превышает предельную концентрацию, поскольку на очистных сооружениях на текущий момент не предусмотрена очистка сточных вод от данных веществ.

Таблица 1 – Содержание взвешенных веществ, азота и фосфатов в хозяйственно-бытовых сточных водах в 2019 г., мг/дм³

Показатель	ПДК	Июнь		Июль		Август	
		до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
Взвешенные вещества	15	132,00	8,70	141,40	13,21	122,00	9,91
Азот аммонийный	2	65,7	4,88	65,42	5,86	58,73	3,65
Нитриты	0,6	0,38	0,88	0,08	0,16	0,07	0,29
Нитраты	40	17,73	39,06	15,51	52,90	18,82	46,73
Фосфаты	2,9	9,43	5,72	8,24	4,95	9,58	5,43

Таблица 2 – Содержание взвешенных веществ, азота и фосфатов в хозяйственно-бытовых сточных водах в 2020 г., мг/дм³

Показатель	ПДК	Июнь		Июль		Август	
		до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
Взвешенные вещества	15	128,10	9,30	134,20	5,40	121,80	6,40
Азот аммонийный	2	65,71	4,66	51,42	5,92	60,70	6,94
Нитриты	0,6	0,13	0,84	0,12	0,72	0,11	0,91
Нитраты	40	13,42	47,10	15,45	58,7	16,93	34,72
Фосфаты	2,9	9,14	5,12	6,3	5,49	5,10	4,01

Полученные результаты показывают, что в условиях Старобешевской тепловой электростанции с целью достижения природоохранных нормативов представляется целесообразным применить

сочетание процесса удаления фосфора и его соединений в сточной воде, с использованием специальных физико-химических методов его удаления с применением реагентов. Дефосфатизации по данной методике заключается в добавлении в сточную воду коагулянтов, которые коагулируют фосфатионы, с последующим удалением хлопьев с коагулирующей взвеси отстаиванием. Применение этого метода, наряду с удалением фосфатов (более чем на 90 %), увеличивает эффективность первичного отстаивания по взвешенным веществам (55...60 %) и по органическим загрязнениям (БПК₅) с 25...30 до 40...60 %. Ввод коагулянта целесообразно осуществлять перед первичным отстаиванием [9].

В качестве мероприятий по денитрификации целесообразным является внедрение технологии SHARON-ANAMMOX. Суть данной технологии заключается в биохимическом окислении веществ органического происхождения штаммами микроорганизмов в специализированных биохимических реакторах, при этом бактериальные формы получают энергию за счет анаэробного окисления аммония в биохимическом процессе окисления иона аммония нитрит-анионом с образованием гидразина в качестве промежуточного продукта, процесс нитрификации можно реализовать, поскольку микроорганизмы нитрификаторы относятся к классу автотрофов и для своего питания используют кислород и неорганический углерод (в основном углекислый газ) и нет недостатка органических компонентов.

Поскольку существующее оборудование на площадке очистных сооружений позволяет внедрить такую схему ANAMMOX-процесса при минимальных капитальных затратах, потребуется строительство только двух (один резервный) специализированных биореакторов для ANAMMOX-процесса, а SHARON-процесс будет осуществляться уже в имеющихся в технологической схеме в биореакторах.

В процессе ANAMMOX потребность в органическом веществе отсутствует, потребность в кислороде уменьшается на 60 %, что приводит к значительному увеличению энергопотребления: потребление электроэнергии на удаление единицы массы азота уменьшается в 2–3 раза. Рост отстоя уменьшается на 90 %, и, как следствие, снижаются затраты на обработку и утилизацию осадка сточных вод. Реакторы для удаления азота занимают меньше места, чем те, которые используются в традиционном процессе нитри-денитрификации. Биохимическое окисление с использованием ANAMMOX-процесса целесообразно реализовывать в анаэробном биореакторе [8, 10].

Как правило, «биопленочные» реакторы данного типа имеют сокращенный начальный период ввода в эксплуатацию и к 50-му дню после запуска они способны очищать стоки, содержащие до 200 мг N/дм³. Биопленки гораздо удобнее хранить и транспортировать, что облегчает запуск новых реакторов. В «биопленочных» биореакторах условия существования микроорганизмов наиболее близки к естественным, поэтому микроорганизмы не испытывают стресса. В биопленках микроорганизмы более устойчивы к различным неблагоприятным факторам, токсическим веществам, антибиотикам, что является существенным преимуществом данной технологии.

ВЫВОДЫ

Анализ существующей схемы очистки сточных вод показывает, что в ее составе предусмотрена лишь очистка от аммонийного азота, нитритов и нитратов по стандартной схеме биологической очистки, отсутствует какая-либо дополнительная стадия, связанная с доочисткой коммунально-бытовых стоков от фосфатов.

Экспериментальным путем на основе системных наблюдений установлено несоответствие существующей схемы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод санитарно-гигиеническому нормативу, определяющему предельные значения концентраций по таким веществам, как: азот аммонийный, нитриты, нитраты и фосфаты.

Исходя из анализа сложившейся на предприятии практики очистки хозяйственно – бытовых сточных вод произведена оценка возможного внедрения новой усовершенствованной схемы очистки сточных вод, основанной на использовании процесса удаления фосфора и его соединений в сточной воде с использованием специальных физико-химических методов его удаления. Установлено, что наибольшую эффективность очистки хозяйственно-бытовых стоков от соединений азота в существующих условиях способно дать внедрение ANAMMOX-процесса реализуемого в анаэробном биореакторе. Даны рекомендации относительно аппаратного оформления процесса биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Половян, А. В. Экономика Донецкой Народной Республики, состояние, проблемы, пути решения / А. В. Половян, Р. Н. Лепа. – Донецк : ДИЭИ, 2017. – 159 с. – Текст : непосредственный.
2. Martin, C. Th. Scholten. Eutrophication and the Ecosystem / C. Th. Scholten Martin, M. Foekema Edwin. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 113 p. – DOI 10.1007/3-540-26671-2_1. – Текст : электронный.
3. Анаэробное окисление аммония для удаления азота из высококонцентрированных сточных вод / Д. А. Данилович, М. Н. Козлов, О. В. Мойжес [и др.]. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 4. – С. 49-54.
4. Despo, F. Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater Reuse / F. Despo, D. Dionysios, K. Klaus. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – 305 p. – DOI 10.1007/978-3-319-23886-9. – Текст : электронный.
5. Dezotti, M. Advanced Biological Processes for Wastewater Treatment / M. Dezotti, G. Lippel, J. P. Bassin. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – 205 p. – DOI 10.1007/978-3-319-58835-3. – Текст : электронный.
6. Ni, Bing-Jie. Formation, characterization and mathematical modeling of the aerobic granular sludge / Bing-Jie, Ni. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 340 p. – DOI 10.1007/978-3-642-31281-6. – Текст : электронный.
7. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение : [составители: Н. А. Шиленко, С. А. Соколова, С. Н. Анисова и др.] : [утвержден приказом Госкомрыболовства России от 28.04.99 N 96]. – Москва : Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с. – Текст : непосредственный.
8. Новая бактерия, осуществляющая анаэробное окисление аммония в реакторе биологической очистки фильтрата сброженного осадка сточных вод / С. В. Храменков, М. Н. Козлов, М. В. Кевбрина [и др.]. – Текст : непосредственный // Микробиология. – 2013. – Т. 82, № 5. – С. 625–634.
9. Ghosh, S. K. Waste Water Recycling and Management / S. K. Ghosh. – Singapore : Springer Nature Singapore Pte, 2019. – 318 p. – DOI 10.1007/978-981-13-2619-6. – Текст : электронный.
10. Рязанцев, А. А. Удаление нитратов из сточных вод денитрификацией в биоэлектрохимическом реакторе / А. А. Рязанцев, В. Г. Дамбит, Д. А. Коновалова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 7. – С. 69–78.

Получена 08.10.2021

О. М. КАЛІНІХІН

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ГОСПОДАРСЬКО-ПОБУТОВИХ
СТОКІВ ОБ'ЄКТА ТЕПЛОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У наданій роботі наведені результати хімічного аналізу господарсько-побутових стічних вод, що скидаються Старобешівською тепловою електростанцією державного унітарного підприємства Донецької Народної Республіки «Енергія Донбасу», на вміст завислих речовин, амонійного азоту, нітратів, нітритів і фосфатів за період 2019–2020 рр. Виявлено кількісні і якісні зміни складу скидів до і після проходження систем очищення, показана недостатня ефективність існуючих систем повної біологічної очистки побутових стічних вод, що вимагає впровадження нових технологічних рішень, спрямованих перш за все на очистку від сполук азоту та фосфору. Надано рекомендації щодо впровадження технології біологічного очищення стічних вод з використанням бактерій анамокс. Як захід з дефосфотизації рекомендовано застосування реагентного методу видалення фосфору за допомогою коагуляції. Показані основні переваги та недоліки технологій пропонує до впровадження, надано рекомендації щодо апаратного забезпечення пропонує технічних рішень.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, нітрифікація, концентрація, тепла електростанція, анамокс процес.

OLEG KALINIHN

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF CLEANING OF HOUSEHOLD WASTE
WATER OF THE THERMAL GENERATION FACILITY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The presented work presents the results of a chemical analysis of the discharged domestic wastewater of the Starobeshevskaya thermal power plant and the state unitary enterprise of the Donetsk People's Republic «Energy of Donbass» for the content of suspended solids, ammonium nitrogen, nitrates, nitrites and phosphates for the period 2019–2020. The quantitative and qualitative changes in the composition of discharges before and after the passage of treatment systems are revealed, the insufficient efficiency of existing systems for complete biological treatment of domestic wastewater is shown, which

requires the introduction of new technological solutions aimed primarily at cleaning from nitrogen and phosphorus compounds. Recommendations are given regarding the introduction of the technology of biological wastewater treatment using anammox bacteria. As measures for dephosphorization, the use of a reagent method for removing phosphorus by coagulation is recommended. The main advantages and disadvantages of the technologies proposed for implementation, recommendations are given regarding the hardware of the proposed technical solutions.

Key words: waste water, biological treatment, nitrification, concentration, thermal power plant, anammox process.

Калинин Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ГОУ ВПО «Донецька національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: процеси переробки твердих побутових відходів, підвищення ефективності конверсії твердого палива, впровадження природоохоронних технологій.

Калініхін Олег Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донецька національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: процеси переробки твердих побутових відходів, підвищення ефективності конверсії твердого палива, впровадження природоохоронних технологій.

Kalinihin Oleg – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the processes of processing solid household waste, increasing the efficiency of solid fuel conversion, the introduction of environmental technologies.

УДК 635.476:615.45/.46

В. Ю. ГРЫЖЕНКУ, В. Н. РАДИОНЕНКО

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕКТОРА КАРТОНА И БУМАГИ В ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Аннотация. В статье кратко рассмотрены причины необходимости перехода отрасли картонно-бумажного производства в Донецкой Народной Республике на вторичное картонно-макулатурное сырье. История развития целлюлозно-бумажной промышленности показывает, что в настоящее время технологии производства целлюлозы относятся к «грязным». Использование ее как основного сырья приводит к сокращению лесных ресурсов на планете, загрязнению водных объектов и атмосферного воздуха. Замена целлюлозы на макулатурное сырье возможна при внедрении 100%-ой системы раздельного сбора твердых бытовых отходов и цифровизации комплекса всех звеньев социально-промышленного кластера, включающего производство картонной тары и возврат ее в виде картонно-макулатурного вторичного сырья. Такой подход позволит решить эколого-экономические проблемы утилизации одной из фракций отходов и увеличить эффективность картонно-бумажных фабрик.

Ключевые слова: целлюлоза, лесные ресурсы, загрязнение, картонно-бумажная отрасль, твердые бытовые отходы, макулатура, вторичное сырье, цифровизация, эффективность.

ЦЕЛЬ

В условиях сложившейся ситуации на территории ДНР возникла также необходимость перевода технологических процессов действующих предприятий по производству картона и большинства сортов бумаги на макулатурное сырье. Решение данной проблемы зависит от нескольких факторов:

- обеспечение предприятий «местным» сырьем, т. е. вторичным сырьем – картонной макулатурой;
- введение системы раздельного сбора твердых бытовых отходов (ТБО) с максимальным извлечением всех видов макулатуры;
- организация системы контроля образования и накопления картонной макулатуры;
- внедрение основных положений цифровой экономики для обеспечения высокого уровня возврата картонной макулатуры в производственный цикл.

Такой подход согласуется с основным положением Закона ДНР «Об отходах» [6], в котором указывается, что «... в целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду необходимо обеспечить их вовлечение в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья».

Большую помощь в этом направлении для развития и повышения производительности картонно-бумажного сектора могут оказать современные цифровые технологии [7]. К сожалению, значительная часть владельцев малого и среднего бизнеса воспринимает цифровизацию (цифровую экономику), как процесс автоматизации внутренних процессов данного сектора экономики Республики. Опыт малых и средних предприятий ЦБП некоторых зарубежных государств показывает, что изменение бизнес-модели отрасли необходимо для достижения эффективности конкурентного развития, что возможно при анализе и последующем изменении модели управления, организационно-технологической структуры предприятий и реформировании коммуникации.

В современных условиях развития различных технологий развитие целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) определяется эколого-экономическими критериями сбалансированного (рационального) природопользования. Целлюлозно-бумажная отрасль – наиболее сложная отрасль

лесного комплекса, связанная с переработкой древесины. Она включает производство целлюлозы, бумаги, картона и изделий из них. Высокие материало-, водо- и энергоемкости, необходимые для получения 1 т целлюлозы, предполагают размещение предприятий данной отрасли, в первую очередь, на территориях лесных ресурсов и вблизи крупных водных объектов. Согласно требованиям закона о природопользовании, извлечение и переработка природных ресурсов должны сопровождаться их восстановлением или воспроизводством, сохранением, рациональным изменением экологического баланса (равновесия) и состоянием природных систем. Вместе с этим необходимо учитывать тот факт, что реальная хозяйственная деятельность человечества достигла такого уровня, когда его потребности в природных ресурсах оказались выше восстановительных возможностей природы.

До 2014 года ЦБП в Донецкой области представлял единственный целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК) в городе Торезе. Деревообрабатывающие, мебельные, картонно-бумажные предприятия были в основном сосредоточены в крупных промышленных городах: Донецк, Константиновка, Славянск, Краматорск, Артемовск. Объем продукции этих предприятий в общем объеме достигал приблизительно 1 %, при этом все они практически работали на привозном сырье, использование которого являлось и продолжает оставаться вынужденной мерой [1]. С началом военных действий на территории Донбасса многие предприятия прекратили свою работу, в т. ч. и Торезский ЦБК.

Лесной фонд «довоенного» Донбасса представляли преимущественно леса первой группы, то есть зеленые зоны, полесозащитные полосы, которые не имеют практически никакого промышленного значения. Лесистость в сельских районах более разнообразная. Если в Краснолиманском районе, где пойменные леса в долине Северского Донца составляли 29 % территории, то в южных, чисто степных районах (Першотравневый, Новоазовский, Тельмановский) они не превышали 5 %.

Естественно, что и лесной фонд ныне Донецкой Народной Республики (ДНР, Республика), представлен аналогичными зелеными насаждениями, что определяется природно-климатическими условиями степной зоны, которые не соответствуют произрастанию естественных лесов [2].

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Исторически так сложилось, что целлюлоза длительный период использовалась как единственный вид сырья для изготовления бумаги и картона [3, 4]. До сих пор технологии получения целлюлозы относятся к достаточно «грязным», загрязняя атмосферный воздух, водные объекты, потребляя огромные объемы древесины, воды, электроэнергии, и при этом первичный продукт требует дополнительной очистки [5]. Тем не менее в настоящее время целлюлоза представляет один из главных компонентов сырья в производствах специальных видов бумаги, картонов и санитарно-гигиенических средств (СГИ), сложных эфиров, спиртов, глюкозы, бездымного пороха и других веществ. С целью сохранения и восстановления лесных ресурсов, а также уменьшения сырьевых и энергетических расходов и, как следствие, улучшения эколого-экономических показателей картонно-бумажной отрасли многие страны Европы, Азии и США переводят технологии получения различных видов бумаги и картона на макулатурное сырье.

Предприятие ООО «Дон-Вторма» (Донецкая картонная фабрика) специализируется на производстве и выпуске бумаги для гофрирования, картона для плоских слоев и упаковочного гофрокартона, сырьем для которых служит макулатура-картон МС-5Б.

В соответствии с ГОСТ 10700-97 выделяются три основных группы макулатуры: А, Б, В. Группа Б – это вторичное сырье среднего уровня, которое представляет отходы производства и потребления верхних слоев, прослойки и цельных листов гофробумаги или гофрокартона.

Предварительными этапами производства бумажных изделий из вторичного сырья являются: сбор макулатуры, ее сортировка и переработка. При этом каждый сорт макулатуры очищается и перерабатывается в целлюлозную массу по своей специальной технологии.

В задачу настоящего исследования входило выяснить:

- 1) объемы картонной макулатуры МС-5Б, необходимые для выполнения среднемесячного плана производства гофрокартона на ООО «Дон-Вторма»;
- 2) установить, какие объекты инфраструктуры города максимально используют тару из гофрокартона;
- 3) выполнить анализ реально действующей системы сбора, хранения и сдачи картонной тары (гофротары);
- 4) целесообразность внедрения системы цифровизации учета и контроля гофротары для повышения эффективности ее возврата на предприятие.

Анализ показал, что практически вся сфера торговли, здравоохранение, сельское хозяйство, пищевая и другие отрасли экономики используют картонно-бумажные упаковки чаще всего в виде коробок и ящиков. Для проведения эксперимента был выбран один из рынков города, как более «доступный» объект, а круг исследуемых торговых точек ограничился 12 кондитерскими киосками.

Было установлено, что никто из предпринимателей не ведет учет полученной и освободившейся упаковки или тары, никого не интересует ее дальнейший «путь», поскольку в договорах между поставщиками и предпринимателями это положение не оговаривается. В то же время имеются и выполняются договоры между администрацией рынка и пунктами приема макулатуры.

Так, на территории данного рынка имеется помещение, где два рабочих проводят предварительную сортировку картонных упаковок по размерам. Среднемесячный план сдачи картонной макулатуры составляет около 600 кг.

В большинстве случаев «конфетные» киоски, принимая продукцию, пересыпают ее в тару, расставленную на полках-витринах. Освободившиеся коробки и упаковки из-под печенья, пряников выносят из киосков, их должны забирать рабочие пункта сортировки рынка, но, как оказалось, около трети «уходит» в руки тех, для кого макулатура – семейный доход.

В течение недели фиксировалось количество освободившейся упаковочной тары, были выполнены замеры ее масс весами ВБ-10 с пределом взвешивания до 10 кг и ценой деления 0,05 кг.

Массы упаковок колеблются в пределах 130...480 г. Среднее количество освободившейся тары в течение рабочего дня (7.00–16.00) зависит от многих причин и указанных выше факторов, поэтому средняя масса картонной макулатуры составляла от 7,3 до 11,4 кг/день. В течение месяца на пункт сортировки рынка только этот сектор «сдает» от 220 до 340 кг макулатурного картона.

Если учесть, что среднемесячная производительность ООО «Дон-Вторма» по трехслойному гофрокартону составляет около 3 000 т (8 600 000 м²), а на производство 1 м² требуется 0,5 кг макулатуры марки МС-5Б, то на предприятии должен быть запас сырья, как минимум, 4 300 т. С учетом полученных опытных данных выяснилось, что на территории Донецкой Народной Республики должны функционировать более 7 тысяч рынков.

ВЫВОД

Современные тенденции перехода ЦБП на макулатурное сырье и полученные практические результаты показывают, что для повышения конкурентности продукции картонно-бумажной отрасли необходимо провести объединение различных объектов малого и среднего бизнеса в единый эффективно действующий кластер при условии разработки поэтапной Стратегии объединения и цифровизации основных звеньев системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлева, Ю. К. Промышленный комплекс Донецкой области: современное состояние, потенциал и перспективы области / Ю. К. Яковлева. – Текст : непосредственный // Географический вестник. – 2014. – 1(28). – С. 29–40.
2. Типологическая карта лесов (часть 1). – Текст : электронный // Ремонт. Строительство. Интерьер : [сайт]. – [2020]. – URL: <http://industrial-wood.ru/spravochnik-ltsnichego/11-tipologicheskaya-klassifikaciya-lesov-chast-1.html> (дата обращения: 01.10.2021).
3. Sixta, H. Chemical Pulping Processes / H. Sixta, A. Potthast, A. W. Krottschek. – Текст : непосредственный // Handbook of Pulp ; Edited by Herbert Sixta. – Weinheim : Wiley-VCH Verlag, 2006. – P. 109–39.
4. Malkov, S. Will the state reveal the forestry complex potential? / S. Malkov. – Текст : непосредственный // Pulp & Paper Industry. – 2018. – 3/7. – P. 19–23.
5. Manturov, D. Prospects of the forest complex in the modern economy / D. Manturov. – Текст : непосредственный // Pulp & Paper Industry. – 2017. – 2/3. – P. 16–17.
6. Об отходах производства и потребления : Закон № 82-ІНС от 09.10.2015 : действующая редакция по состоянию на 16.03.2015. – Текст : электронный // Народный Совет Донецкой Народной Республики : официальный сайт. – [2015]. – URL: <https://dnrsovet.su/zakon-ob-othodah-proizvodstva-i-potrebleniya-82/> (дата обращения: 05.10.2021).
7. Гизатулина, Е. Н. Проблемы внедрения Концепции цифровой экономики на уровне малого и среднего бизнеса / Е. Н. Гизатулина, Е. П. Чучко. – Текст : непосредственный // Цифровизация экономики и общества: проблемы, перспективы, безопасность : материалы III Международной научно-практической конференции, 25 марта 2021 года ; ГОУ ВПО «Донбасская юридическая академия» / Ответственный редактор : И. П. Подмарков. – Донецк : «Цифровая типография», 2021. – С. 289–293.

Получена 07.10.2021

В. Ю. ГРИЖЕНКУ, В. М. РАДІОНЕНКО
МОЖЛИВОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ КАРТОННО-ПАПЕРОВОГО СЕКТОРА В
ДОНЕЦЬКІЙ НАРОДНІЙ РЕСПУБЛІЦІ
ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті коротко розглянуто причини необхідності переходу галузі картонно-паперового виробництва у Донецькій Народній Республіці на вторинно-макулатурну сировину. Історія розвитку целюлозно-паперової промисловості показує, що до цих пір технології виробництва целюлози відносяться до «брудних». Використання її як основної сировини призводить до скорочення лісових ресурсів на планеті, забруднення водних об'єктів та атмосферного повітря. Заміна целюлози на макулатурну сировину можлива при впровадженні 100%-ої системи роздільного збору твердих побутових відходів і цифровізації комплексу усіх ланок соціально-промислового кластеру, що включає виробництво картонної тари та її повернення у вигляді картонно-макулатурної вторинної сировини. Такий підхід дозволить вирішити еколого-економічні проблеми утилізації однієї із фракцій відходів та підвищити ефективність картонно-паперових виробництв.

Ключові слова: целюлоза, лісові ресурси, забруднення, картонно-паперова галузь, тверді побутові відходи, макулатура, вторинна сировина, цифровізація, ефективність.

VIKTORIAY GRYZHENKU, VITALY RADIONENKO
OPPORTUNITIES FOR DIGITALIZATION OF THE CARDBOARD AND PAPER
SECTOR IN THE DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article briefly discusses the reasons for the need for the transition of the cardboard and paper production industry in the Donetsk People's Republic to secondary cardboard and waste paper raw materials. The history of the development of the pulp and paper industry shows that currently pulp production technologies are «dirty». Its use as the main raw material leads to a reduction of forest resources on the planet, pollution of water bodies and atmospheric air. Cellulose replacement for waste paper is possible in the introduction of a 100% system of separate collection of solid household waste and digitalization of the complex of all units of the socio-industrial cluster, which includes the production of cardboard packaging and returning it in the form of cardboard-waste of secondary raw materials. This approach will allow solving the ecological and economic problems of disposal of one of the waste factions and increase the efficiency of cardboard and paper factories.

Key words: cellulose, forest resources, pollution, cardboard and paper industry, solid household waste, waste paper, secondary raw materials, digitalization, efficiency.

Грыженку Виктория Юрьевна – студентка ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: холодильная и криогенная техника, холодильная технология, современные системы холодоснабжения.

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.

Гриженку Вікторія Юріївна – студентка ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: холодильна і криогенна техніка, холодильна технологія, сучасні системи холодопостачання.

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

Gryzhenku Viktoriay – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing and reuse of industrial waste.

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.

УДК 624.477:615.47/.46

В. Н. РАДИОНЕНКО, В. Ю. ГРЫЖЕНКУ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИСТОЧНИКИ РТУТИ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос, связанный с влиянием ртути на организм человека. Изложены материалы заключений специалистов компетентных органов в отношении того, какие заболевания может спровоцировать ртуть. Наличие определённых форм ртути в природе обосновано проведенными экспериментальными исследованиями, в результате чего, было выделено пять форм нахождения ртути. Изложена сущность проводимых экспериментальных исследований. Перечислены основные антропогенные источники ртути, оказывающие существенную нагрузку на окружающую среду. Из перечисленных антропогенных источников, характерных для территорий Донецкой Народной Республики (ДНР), рассмотрено производство коксохимической промышленности Республики. В зависимости от марок углей, добываемых на территории ДНР, обосновано наличие в них ртути. Сделан акцент на углях, использующихся в коксохимическом процессе. На коксохимзаводе отобрана проба смолистого полимера из сепаратора бензола, который, накапливаясь в сепараторе, мешает нормальному протеканию технологического процесса и поэтому раз в квартал удаляется. Полный анализ состава полимера показал, что он состоит на 40...60 % из металлической ртути. Внесены предложения по стабилизации экологической безопасности в коксохимической промышленности Республики.

Ключевые слова: ртуть, загрязнения, источники, антропогенное воздействие, химические способы, уголь, коксохимическая промышленность.

ЦЕЛЬ

Анализ и обоснование проблем, связанных с образованием антропогенных источников ртути в атмосфере на территории Донецкой Народной Республики, на примере коксохимического производства.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В последние годы охрана окружающей среды от химических загрязнений является предметом широкого международного сотрудничества, предусматривающего изучение и решение на основе комплексного научного подхода различных аспектов указанной проблемы, исследования которой по своей природе носят многосторонний, двусторонний, региональный или субрегиональный характер. Основными направлениями этих исследований являются оценка влияния уровней загрязнения и деградации окружающей среды на здоровье человека, изучение и разработка критериев и стандартов для различных загрязнителей окружающей среды. Среди последних ртуть и ее соединения занимают особое место.

Реальность загрязнения биосферы ртутью и ее соединениями обусловлена их относительно высокой летучестью, устойчивостью во внешней среде, растворимостью в атмосферных осадках, способностью к сорбции почвой и зелеными насаждениями, что в совокупности приводит к постепенному накоплению и концентрации ртути в окружающей человека среде.

Интенсивное поступление ртути в окружающую среду в результате деятельности человека дало о себе знать локальным повышением содержания ртути в объектах окружающей среды, в первую очередь во внутренних водоемах, а также в растениях и тканях наземных организмов. Группа специалистов Национального института медицинских проблем окружающей среды (США) в своем докладе

отмечала возможность влияния химических загрязнителей внешней среды на процессы старения, возникновение и течение сердечно-сосудистых, и в частности коронарных заболеваний, эмфизему легких, бронхит, рак. В полной мере это относится к ртути и ее соединениям.

Основные минералого-геохимические особенности ртути и формы ее нахождения были изучены методом селективного прокаливания, дающего по опыту других исследователей относительно достоверные результаты. Каждую пробу после дробления до 0,14 мм и тщательного перемешивания делили на шесть навесок по 10...15 г. В одной из них определяли начальное количество ртути в пробе, а остальные прокаливали при последовательно повышающейся температуре (100, 200, 300, 400 и 500 °С) в муфельной печи в течение 8 часов. В прокаленных навесках определяли содержание ртути спектральным количественным методом.

Для контроля 20 % проб исследованы химическим методом, показавшим удовлетворительную степень сходимости с данными спектрального анализа. Результаты прокаливания интерпретировались по температурному показателю. Предполагалось, что каждой температурной ступени эксперимента соответствует испарение ртути, заключенной в определенной минеральной форме. Основываясь на данных температуры разрушения кристаллических решеток минералов, с которыми может быть связана ртуть, можно предположить, что каждая из указанных температурных ступеней будет характеризоваться испарением ртути, заключенной в определенной минеральной или химической форме.

Для проверки этого предположения было проведено прокаливание серии проб с известными формами нахождения в них ртути. Дальнейшее сопоставление эталонных проб с данными по изоморфизму и другим видам связи между элементами в природных соединениях позволили выделить пять следующих форм нахождения ртути:

1. Ртуть самородная – полное испарение при нагревании в течение 8 часов при 100 °С. Представлена в виде капелек в трещинках и пустотах нерудных минералов, реже в богатых гнездах кристаллической киновари. Отмечается также нахождение ртути в виде мелких точечных включений и плёночек.

2. Ртуть сульфидная в форме порошковой киновари – испарение в интервале 200...300 °С. Отмечается в виде налетов и примазок вдоль небольших трещин в зернах кварца, диккита и флюорита. Встречается среди гидроксидов железа, малахита и оксидных минералов сурьмы, полностью замещающая отдельные зерна с образованием характерных реликтовых выделений. Иногда образует своеобразные ореолы вокруг кристаллической киновари.

3. Ртуть сульфидная в форме кристаллической киновари – полное испарение в интервале 300...400 °С. Представлена в виде мелкой рассеянной вкрапленности, системы различно ориентированных прожилок, гнездообразных скоплений и совокупности мелких кристаллов. Размеры выделений от 0,02...0,2 мм до 3...974 мм. Ассоциирует с антимонитом, оксидами сурьмы, реальгаром, аурипигментом, кварцем, кальцитом и флюоритом.

4. Ртуть тонкодисперсная – устойчивая форма при температуре 400...500 °С. Представлена мельчайшими выделениями самородной ртути, порошковой и кристаллической киновари. Метасоматически замещающая вмещающую породу, окрашивает последнюю в ярко-красные тона; образует тонкие механические смеси с антимонитом, реальгаром, кварцем и глинистыми минералами.

5. Ртуть в виде ультратонкой и, возможно, изоморфной примеси в рудных минералах (пирите, сфалерите, арсенопирите) и в виде ультратонкой примеси в вакуолях жильных минералов (кварца, кальцита, флюорита). Температура полного испарения ртути соответствует температуре разрушения кристаллических решеток этих минералов и составляет более 500 °С.

В дальнейшем в продуктах обогащения и обжига были исследованы установленные формы нахождения ртути. Характерно, что в ртутно-сурьмяном концентрате более чем на 30 % ртуть представлена сульфидной формой, причем преобладает кристаллическая киноварь. Около 8 % ртути отмечено в виде самородных выделений или тонкодисперсных образований. Основная масса киновари находится в виде свободных от сростков зерен размером от 0,016 до 0,235 мм. В хвостах флотации киноварь отмечается в виде порошковых примазок на зернах кварца и карбонатах, а также в виде свободных от сростков зерен размером от 0,001 до 0,025 мм. В продуктах обжига ртутно-сурьмяных концентратов в печи кипящего слоя и монометаллических ртутных руд в трубчатых вращающихся печах киноварь и сопутствующие ей рудные и нерудные минералы претерпевают ряд характерных изменений. Во многих продуктах установлены минеральные новообразования, которые предварительно диагностированы как вторичная модификация сернистой ртути и разного состава соли мышьяка. Фазовый анализ проб показал наличие ртути во всех продуктах переработки руд, за исключением ступпы, в основном

сульфидной формы. По мере удаления от печи содержание ртути возрастает обратно пропорционально крупности частиц пыли. В ступе оно зависит главным образом от ее концентрации в технологических газах и количества пыли, попадающей в концентрационную систему. Большое количество сульфидов ртути в ступе, а также в пыли циклона и пылевой камеры объясняется либо механическим выносом киновари потоками газов, либо сдвигом равновесий химических реакций при охлаждении технологических газов в системе пылеулавливания и конденсации. Нахождение металлической ртути в пыли пылевой камеры и циклона можно объяснить не оптимальным режимом технологического процесса. Результаты проведенных исследований можно использовать для совершенствования технологических процессов и прежде всего по поддержанию высокой температуры по всему газоходному тракту до входа в конденсационную систему – основного источника поступления ртути в атмосферу, что значительно уменьшит негативное влияние ртутного производства на окружающую среду.

Основными антропогенными источниками ртути, загрязняющими атмосферу, почву и водные экосистемы, являются: собственно производство ртути, черная и цветная металлургия, целлюлозно-бумажная промышленность, сжигание угля, коксохимическое производство, сжигание отходов, химико-технологические процессы. Из перечисленных антропогенных источников, нами будет рассмотрено коксохимическая промышленность.

Указанный вид промышленности Донецкой Народной Республики (ДНР) находится в стадии становления. Ясиновский, Горловский, Макеевский коксохимические заводы постепенно начинают набирать производственные мощности. В связи с этим нагрузка на окружающую среду безусловно нарастает.

Известно, что горючие полезные ископаемые – уголь, нефть, горючие сланцы, углеводородные газы – содержат сравнительно повышенные концентрации ртути. Их использование соответственно приводит к загрязнению окружающей среды ртутью. Из имеющихся литературных данных, каменные угли, добываемые на территории ДНР, содержат существенное количество ртути. В зависимости от марки углей и особенностей угленакопления ее содержание варьирует от 2×10^{-6} до $3,48 \times 10^{-4} \%$. Согласно имеющимся лабораторным данным по анализу угольной шихты одного из коксохимзаводов, содержание ртути составляло $5,0...7,0 \times 10^{-3} \%$. Донецкие угли используются главным образом как энергетическое и коксохимическое сырье. Проблема загрязнения ртутью окружающей среды при использовании энергетических углей на ТЭС широко известна и в этой работе не рассматривается.

В коксохимическом процессе используются коксующиеся угли и близкие к ним по свойствам угли марок Ж (жирные), ОС (отощено-спекающиеся) и Т (тощие), которые содержат больше ртути, чем энергетические угли (марки «Д» и «Г»). Содержащаяся в углях ртуть в процессе коксохимической переработки переходит в продукты коксования, уходит частично с отходящими газами в атмосферу и, частично, остается в коксе. Анализ ее распределения в продуктах коксования показывает, что максимум приходится на смолы и вязкую фракцию (полимер), образующуюся при окислении поглотительного масла, которое сорбирует пары бензола и ртути. На коксохимзаводе отобрана проба смолистого полимера из сепаратора бензола, который, накапливаясь в сепараторе, мешает нормальному протеканию технологического процесса и поэтому раз в квартал удаляется. Объем извлекаемого за один раз полимера составляет $1,0...2,0 \text{ м}^3$.

Как правило, извлеченный полимер выбрасывался на свалку или возвращался в исходную шихту, где, разлагаясь, отравлял ртутью окружающую среду.

Полный анализ состава полимера показал, что он состоит на 40...60 % из металлической ртути. Присутствуют, очевидно, и ртутьорганические соединения.

Органические компоненты представлены пиреном, атраценом и другими конденсированными ароматическими органическими соединениями.

Примерный расчет показывает, что за год из сепаратора бензола коксохимзавода извлекается до $4...8 \text{ м}^3$ полимера, т. е. $2,0...4,0 \text{ м}^3$ ртути. Следовательно, на предприятии можно получать до 3 м^3 ртути.

ВЫВОДЫ

1. В процессе коксохимического передела (в сепараторе бензола) образуется ртутьсодержащий полимер, который, накапливаясь в значительных количествах, мешает протеканию технологического процесса и является сильнейшим антропогенным загрязнителем окружающей среды опасным поллютантом – ртутью.

2. Содержание ртути в полимере составляет 40...60 %. При загруженных производственных мощностях, имеющихся на коксохимзаводах, суммарно за один год могут вырабатывают 700...800 м³ полимера, т. е. до 30...40 м³ ртути, что позволяет использовать полимер как ртутное сырье.

3. Утилизация коксохимического полимера будет не только способствовать улучшению экологической обстановки на территории Республики, но и получению определенного количества ртути как товарного продукта.

4. Для решения проблемы по использованию отходов коксохимического производства в ДНР для получения ртути, необходимо разработать программу, включающую два основных раздела:

- опробование отходов всех коксохимических заводов и оценка объемов получения ртути;
- разработка теоретических принципов получения ртути из полимера, создание опытного образца и технологической линии с оценкой стоимости получения конечной товарной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова, В. Н. Возможные пути распределения ртути в биосфере / В. Н. Данилова, С. Д. Хушвахтова, В. В. Ермаков. – Текст : непосредственный // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2008. – №3(7). – С. 135–139.
2. Богдасаров, А. А. Роль экологической минералогии в решении природоохранных проблем на Никитовском ртутном комбинате / А. А. Богдасаров, Р. М. Багатаев, В. И. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Минералогический журнал. – 1993. – Том 15, № 6. – С. 55–61.
3. Юдович, Я. Э. Ртуть в углях – серьезная экологическая проблема / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Текст : непосредственный // Биосфера. – 2010. – Т. 1, № 2. – С. 237–247.
4. Янин, Е. П. Ртуть в России: ресурсы, производство, потребление / Е. П. Янин. – Текст : непосредственный // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. – Москва : ИМГРЭ, 2005. – С. 5–34.
5. Zhang, M. Q. Evaluation of mercury emission to the atmosphere from coal combustion, China / M. Q. Zhang, Y. C. Zhu, R. W. Deng. – Текст : непосредственный // China. Ambio. – 2002. – Vol. 31. – P.482–484.
6. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources / N. Pirrone, S. Cinnirella, X. Feng [et al.]. – Текст : непосредственный // Atmos. Chem. Phys. Discuss. – 2010. – № 10. – P. 4719–4752.

Получена 06.10.2021

В. М. РАДИОНЕНКО, В. Ю. ГРИЖЕНКУ ДЖЕРЕЛА РТУТІ НА ТЕРИТОРІЇ ДОНЕЦЬКОЇ НАРОДНОЇ РЕСПУБЛІКИ ВНАСЛІДОК АНТРОПОГЕНННОГО ВПЛИВУ ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглянуто питання, пов'язане із впливом ртуті на організм людини. Викладено матеріали висновків фахівців компетентних органів щодо того, які захворювання може спровокувати ртуть. Наявність певних форм ртуті у природі обґрунтовано проведеними експериментальними дослідженнями, у результаті було виділено п'ять форм перебування ртуті. Викладено сутність експериментальних досліджень, що проводяться. Перераховані основні антропогенні джерела ртуті, які мають суттєве навантаження на довкілля. З цих антропогенних джерел, що характерні для територій Донецької Народної Республіки (ДНР), розглянуто виробництво коксохімічної промисловості Республіки. Залежно від марок вугілля, що видобувається на території ДНР, обґрунтовано наявність у них ртуті. Зроблено акцент на вугіллі, що використовується в коксохімічному процесі. На коксохімічному заводі відібрано пробу смолистого полімеру із сепаратора бензолу, який, накопичуючись у сепараторі, заважає нормальному перебігу технологічного процесу і тому раз на квартал видаляється. Повний аналіз складу полімеру показав, що він складається на 40...60 % із металевої ртуті. Внесено пропозиції щодо стабілізації екологічної безпеки у коксохімічній промисловості Республіки.

Ключові слова: ртуть, забруднення, джерела, антропогенний вплив, хімічні засоби, вугілля, коксохімічна промисловість.

VITALY RADIONENKO, VIKTORIAY GRYZHENKU MERCURY SOURCES ON THE TERRITORY OF THE DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC IMPACT Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article discusses the issue related to the effect of mercury on the human body. The materials of the conclusions of specialists of the competent authorities regarding what diseases mercury can provoke

are presented. The presence of certain forms of mercury in nature is justified by experimental studies, as a result of which five forms of mercury were identified. The essence of the conducted experimental research is stated. The main anthropogenic sources of mercury that have a significant impact on the environment are listed. Of the listed anthropogenic sources, they are typical for the territories of the Donetsk People's Republic (DPR), the production of the coke-chemical industry of the Republic is considered. The presence of mercury in them is substantiated depending on the grades of coal mined on the territory of the DPR. The emphasis is made on coals used in the coke-chemical process. At the coking plant, a sample of resinous polymer was taken from the benzene separator, which, accumulating in the separator, interferes with the normal course of the technological process and, therefore, is removed once a quarter. A complete analysis of the composition of the polymer showed that it consists of 40...60 % of metallic mercury. Proposals have been made to stabilize environmental safety in the by-product coke industry of the Republic.

Key words: mercury, pollution, sources, anthropogenic impact, chemical methods, coal, coke-chemical industry.

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.

Грыженку Виктория Юрьевна – студентка ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: холодильная и криогенная техника, холодильная технология, современные системы холодоснабжения.

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

Гриженку Вікторія Юріївна – студентка ГОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: холодильна і криогенна техніка, холодильна технологія, сучасні системи холодопостачання.

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.

Gryzhenku Viktoriay – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing and reuse of industrial waste.

УДК 628.35

И. И. ПОЛОХИНА

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ПАЛОЙ ЛИСТВОЙ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ Г. ДОНЕЦКА

Аннотация. Данная статья посвящена обзору и анализу законодательства в сфере обращения с отходом IV класса опасности – палой листвой с целью определить законодательно-обусловленный путь (метод) утилизации листового опада. Показано, что в современном градостроительстве зеленые насаждения выполняют значимую санитарно-экологическую функцию, однако несут в себе и определенные жилищно-коммунальные и экологические проблемы. Определены основные функции зеленых насаждений, наиболее важными из которых являются: *оптимизация температурно-влажного режима*, ионизация воздуха, бактерицидное действие некоторых видов растений, пылеулавливающие способности, газоустойчивость и газоулавливание, улучшают эстетическое восприятие городской среды [9]. Показаны негативные факторы, связанные с образованием листового опада, последствия некоторых несанкционированных способов обращения с палой листвой. Проведен обзор существующего законодательства в сфере обращения с палой листвой. Утвержденный законодательством метод компостирования не решает вопрос с поллютантами в перепревшей листве. Предложен экологически безопасный, биологический, малозатратный способ переработки листового опада методом вермикомпостирования с целью решения коммунальной проблемы утилизации отхода IV класса опасности.

Ключевые слова: палая листва, зеленые насаждения, поллютанты, компостирование, лиственный опад, вермикомпостирование, законодательные акты, нормативные акты.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Невозможно представить городские застройки без зеленых насаждений, которые выполняют многообразные полезные функции для благоустройства городских территорий:

1. Оптимизация температурно-влажного режима с постоянным передвижением воздушных масс, что способствует горизонтально-вертикальному проветриванию.
2. Зеленые насаждения усиливают ионизацию воздуха. Исследования показали положительное влияние ионизации на весь организм человека. Зеленые насаждения различных видов по-разному ионизируют воздух (повышают в воздухе количество легких ионов), оптимальный результат дают смешанные древесно-кустарниковые посадки.
3. Поглощая углекислый газ и выделяя кислород зеленые насаждения играют важную роль в процессе газообмена. У разных видов растений это свойство проявляется по-разному. Например, тополь берлинский в 7 раз больше ели обыкновенной поглощает CO_2 и выделяет O_2 , дуб черешчатый – в 4,5 раза, липа крупнолистная – в 2,5 раза. При проведении озеленительных работ для городских территорий необходимо учитывать эту способность зеленых насаждений.
4. Бактерицидное действие многих видов растений благоприятно воздействует на городскую среду. Особенно эффективны фитонциды хвойных растений, черемухи обыкновенной, чубушника, тиса ягодного, дуба пушистого, граба европейского, березы бородавчатой и др.
5. Суммарная солнечная радиация под кронами отдельных видов деревьев почти в 9 раз ниже, чем на открытом месте.
6. Пылеулавливающие способности. Установлено, что многие растения задерживают на пластинках своих листьев большое количество пылевидных частиц (в облиственном состоянии – 42,2 %, а при отсутствии листвы – 37,5 %). К примеру, за вегетационный период тополь черный (*Populus nigra* L.),

© И. И. Полохина, 2021

произрастающий вблизи цементного завода, задерживает 44 кг пыли, тополь белый (*Populus alba* L.) – 34, клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) – 30 кг. Древесно-кустарниковая растительность обладает избирательной способностью по отношению к вредным примесям и в связи с этим обладает различной устойчивостью к ним. Промышленные газы вызывают увеличение проницаемости клеточных мембран листьев. Особенно опасны для растений кислые легкорастворимые в воде газы (SO_2 , NO , NO_2 , HF , HCl). Исследования показали, что лучшими газопоглотительными качествами обладают: тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), ясень зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borch.), катальпа бигнониевидная (*Catalpa bignonioides* Walter.) Зеленые насаждения значительно снижают скорость движения воздуха.

7. Газоулавливание. Растительность обладает свойством поглощать газообразные отходы промышленных производств и транспорта, тем самым проводя биоремедиацию атмосферного воздуха. В связи с этим аспектом выделяются виды растений с повышенной газоустойчивостью.

8. Немаловажным для городской среды являются шумоулавливающие способности растений. Зеленые насаждения поглощают до 24 % звуковой энергии, а оставшуюся ее часть отражают и рассеивают в разных направлениях.

9. Разнообразие декоративных форм растений имеет положительное эстетическое воздействие на психологическое состояние человека, организует микроклимат и приближает условия окружающей человека среды к оптимальным.

Однако зеленые насаждения создают экологическую, санитарную и коммунальную сезонные проблемы в виде палой листвы, что имеет аспект и организационных сложностей. Вместе с тем листва аккумулирует соединения тяжелых металлов и другие поллютанты, которые при разложении неубранной листвы и вымывании осадками попадают в почву, пыль и др. Представители коммунальных служб констатируют, что неубранная палая листва очень быстро превращается в сборник смешанного с листьями мусора, уборка и утилизация такой смеси осложнена. Под палой листвой за частую выпревает газонная трава.

Часто используемый незаконный метод утилизации, такой как сжигание листвы, несет в себе значительную угрозу здоровью человека, так как при этом выделяется, и непосредственно вдыхается человеком, угарный газ (CO), который блокирует поступление кислорода к тканям организма человека, бензапирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), может вызывать рак у человека, оксиды азота (NO и N_2O) вызывают целый ряд легочных заболеваний у человека, а соединяясь с парами воды, образуют азотную и азотистую кислоты, что приводит к гибели зеленых насаждений и летальным исходам у теплокровных, диоксины ($\text{C}_{12}\text{H}_6\text{O}_2$) – одно из самых ядовитых веществ для человека, так как нарушает репродуктивную функцию и сильно снижает иммунитет, а также пыль, сажа и другие вредные для здоровья людей и животных вещества.

Сейчас ведутся дискуссии, нужно ли убирать палую листву в городе, ведь она, порой, является почти единственным источником питательных веществ для растений в городской среде, предохраняет корневую систему городских растений от вымерзания и высыхания. Палая листва уменьшает теплопроводность почвы. Также она является местом обитания для представителей многих полезных видов фауны. Однако при этом листва является и местом скопления и зимовки многих видов вредителей, инфекций и т. д.

Согласно литературным данным, направлениями утилизации палой листвы может быть ее пиролизическая переработка с получением сорбционных материалов, важнейшим из которых является активированный уголь. Однако с уменьшением гумусного слоя планеты, перед человечеством стоит вопрос его сохранения и восстановления. Поэтому мировое сообщество склоняется к биологическим способам переработки органических отходов.

Решением данного вопроса может быть использование дождевых червей для переработки городского листового опада (вермикюльтивирование). Вермикюльтивирование предлагается многими авторами как способ решения вопроса переработки органических отходов. Технология экономична, не требует больших финансовых и трудовых затрат. В результате такой переработки получается органико-минеральное удобрение, превращая, таким образом отход в доход.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопрос утилизации палой листвы является важным почти для всех городов.

До сих пор открыт вопрос, каким способом безопасно осуществлять обращение с палой листвой.

Е. А. Соловьева, Е. М. Эпельбаум [6] дают анализ в своей работе влиянию листового опада на формирование почв в городской черте. М. В. Ларионов [3] рассматривает вопрос накопления

древесными растениями тяжелых металлов в зависимости от автотранспортной нагрузки и устанавливает прямую зависимость накопления тяжелых металлов в листьях растений от интенсивности транспортного движения вблизи зеленых насаждений.

М. Л. Сорока, Л. А. Ярышкина [4] рассматривают экологическую проблему сезонных муниципальных отходов на основе опалой листвы зон зеленых насаждений города Днепропетровск.

В статье «Некоторые аспекты токсических свойств палой листвы и пути ее утилизации» Б. А. Харитонов, М. Б. Старостенко, В. В. Хазипова [9] дают анализ проблем, связанных с листовым опадом в г. Донецке.

Анализируя существующие публикации на эту тему, можно сказать, что проблема создания биологической переработки листового опада актуальна и требует дальнейших исследований. В литературе не много сведений по тематике переработки палой листвы и биологических методов ее утилизации.

Так, К. А. Петроченко, А. В. Куровский, А. С. Бабенко, Ю. Е. Якимов [5] рассматривают вермикомпост из листового опада как перспективное кальциевое удобрение. Частично вопрос использования листового опада при составлении компостов для вермикомпостирования рассматривают Д. И. Мухоморов, В. В. Ускова при решении вопроса об оптимизации параметров вермикомпостирования осадков сточных вод. В данном случае листовый опад в незначительных количествах используется при формировании пищевых субстратов для дождевых червей.

Вермикомпостирование как способ утилизации разнообразных органических отходов рассматривается многими авторами.

Так, И. Н. Титов и В. М. Усоев [7] рассматривают вермикультуру как возобновляемый источник животного белка из органических отходов. Г. Я. Дрозд [2], С. Д. Трискиба, И. И. Полохина [8] в своих работах заявляли о возможности использования вермитехнологий в переработке осадков сточных вод и избыточного ила. В. В. Миронов сообщает о возможности переработки вермикомпостированием свиного навоза, птичьего помета, навоза крупнорогатого скота, органической составляющей ТБО.

Обычное компостирование характеризуется самыми низкими эксплуатационными затратами. Вермикомпостирование более сложно технологически, однако биогумус, являющийся конечным продуктом, обладает высокой влагоемкостью, сыпучестью, повышенным содержанием азота, фосфора, калия. Дождевые черви аккумулируют большое количество поллютантов и переводят многие соли тяжелых металлов в формы, не доступные растениям. Полученный вермигумус имеет свойство пролонгированного действия как удобрение, из-за особого свойства копролитов червей, следовательно, более технологичен и экономичен в использовании.

Азота в нем в 5 раз больше, чем в почве, фосфора – в 7, калия – в 11 раз. В 1 г сухого биогумуса содержится $10 \cdot 10^{11}$ клеток актиномицетов, аммонификаторов, нитрификаторов, целлюлолитиков, что нормализует развитие свойственных здоровой почве микробных ассоциаций и обеспечивает подавление патогенов.

Следует отметить, что проблема листового опада не рассматривается как самостоятельная экологическая и коммунально-бытовая проблема в целом, а лишь как компонент другой основной задачи – получение органо-минерального удобрения или как компонент пищевых субстратов в переработке других органических отходов в вермикомпостировании.

Принимая во внимание, что выполнение законодательных норм утилизации палой листвы до сих пор часто игнорируются объектами хозяйственной деятельности в силу незнания, непонимания, неудобства и зачастую невыгодности способов их исполнения, для решения этого вопроса требуется разработка научно обоснованных, малозатратных, несложных и выгодных методов утилизации палой листвы.

Интерес к технологиям утилизации отходов опавшей листвы неуклонно растет, однако обращение с палой листвой в качестве вторичного сырья жестко регламентируется действующим и законодательствами Украины ряда других стран.

Целью данной работы является описать и проанализировать особенности существующего законодательства в сфере обращения с листовым опадом, а также рассмотреть преимущества применения вермикультивирования для утилизации этого отхода.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Представленный ниже анализ по вопросу обращения с листовым опадом базируется на основе законодательств Украины, Белоруссии, России, Донецкой Народной Республики.

Листоной пад является проблемой для многих городов. С одной стороны, законодательство многих стран запрещает сжигание листвы бытовым способом. Однако рекомендуемое законодательством обычное компостирование в большинстве случаев не применяется на деле. Это связано с длительными сроками и экстенсивностью процесса (3–5 лет, в зависимости от состава компоста), зачастую накоплением поллютантов в листве промышленных городов и некоторых балансодержателей, как следствие, сложность дальнейшего использования полученного компоста в хозяйстве из-за сомнительного качества, необходимость задействования городских или близкорасположенных к нему земель.

Донецк – центр промышленного региона, предприятия которого выбрасывают в атмосферу более 30 загрязняющих веществ, многие из которых накапливаются в листве зеленых насаждений города.

Начальник управления ЖКХ администрации Донецка Валерий Литвинов заявил, что объем листвы, подлежащей сбору и вывозу по жилому фонду, составляет порядка 60 тыс. м, по расчетным данным это составляет около 183...300 тыс. кг мокрой листвы.

Однако тут не учтен сбор листового опада отдельными балансодержателями (а это, как правило, крупные предприятия с большими озелененными площадями), перед которыми так же стоит задача сезонной уборки своих территорий.

В Донецкой Народной Республике, согласно Постановлению Совета министров Донецкой Народной Республики №1-9 от 02.06.2014 г «О применении законов на территории ДНР в переходный период», способы обращения с отходами и другие экологические задачи, в частности, обращение с палой листвой, решаются на основании соответствующих законодательных актов Украины.

С учетом возможного происхождения данный отход классифицирован в соответствии с Б.6 ДК 005-96 Украины как: – отходы коммунальные смешанные (КОД 7720.3.1.01); – отходы, полученные от чистки улиц (КОД 7720.3.1.03), с сезонным периодом образования и накопления.

Согласно государственному классификатору отходов Донецкой Народной Республики (ГКО ДНР) палая листва относится к кодам [12]:

- 7 31 200 00 00 0 – отходы от уборки территории городских и сельских поселений, относящиеся к твердым коммунальным отходам;
- 7 31 200 01 72 4 – мусор и смет уличный;
- 7 31 200 02 72 5 – мусор и смет от уборки парков, скверов, зон массового отдыха, набережных, пляжей и других объектов благоустройства;
- 7 31 200 03 72 5 – отходы от уборки территорий кладбищ, колумбариев;
- 7 31 290 00 00 0 – прочие отходы от уборки территории городских и сельских поселений;
- 7 31 300 00 00 0 – растительные отходы при уходе за газонами, цветниками, древеснокустарниковыми посадками, относящиеся к твердым коммунальным отходам;
- 7 31 300 01 20 5 – растительные отходы при уходе за газонами, цветниками;
- 7 31 300 02 20 5 – растительные отходы при уходе за древесно-кустарниковыми посадками;
- 7 31 900 00 00 0 – прочие твердые коммунальные отходы.

Из перечня кодов отходов ГКО ДНР видно, насколько разнообразны хозяйственные виды деятельности, напрямую связанные с уборкой листового опада.

Авторами М. Л. Сорока, Л. А. Ярышкина было проведено определение класса опасности палой листвы (IV класс) согласно ДСанПиН 2.2.7.029-99 [11].

Этот же нормативный акт регламентирует:

– отходы IV класса опасности могут храниться открыто на промышленной площадке в виде конусообразной кучи,

Знание этих положений ДСанПиНа 2.2.7.029-99 важно при выборе технологии и планировании мест и условий утилизации листового опада. Опираясь на этот документ, можно совмещать и временное хранение палой листвы, и вермикультивирование на одних площадях.

Еще одним ключевым законодательным актом в сфере обращения с листовым опадом является закон Украины «Про благоустрій населених пунктів», ВВР, 2005, № 49, которым определены мероприятия по обращению с листовым опадом [12].

Статья 16 пункт 1.3 запрещает вывозить и сваливать не в отведенных для этого местах отходы, траву, ветки, листья, снег.

Приказом № 105 от 10.09.2006 г. [13] Министерства строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины «Содержание зеленых насаждений в населенных пунктах Украины», статьей 9.1.19 запрещается сгребать листья из подгруппы деревьев в лесопарках, скверах, садах, так как это приводит к вынесению органических удобрений, уменьшению изоляционного слоя для почвы, который препятствует испарению почвенной влаги и промерзанию корневой системы. Тут

же рекомендуется оставлять листья на зиму с последующей перекопкой с почвой весной. Сгребать листья рекомендуется только тогда, когда они негативно влияют на внешний вид насаждений (партерный газон, памятники и мемориальные комплексы, детские площадки). Эта же статья запрещает сжигать листья. Листья, измельченные ветки и скошенные газонные травы, остатки цветочно-декоративных растений рекомендовано вывозить на специальные полигоны или отведенные площадки на предприятиях зеленого хозяйства для приготовления компостов.

Правила благоустройства, санитарного содержания территорий, обеспечения чистоты и порядка в г. Донецке № 10/7, утвержденные решением городского совета от 23. 11.2011, в Разделе II определяют необходимым:

– регулярную уборку территорий от мусора, бытовых отходов, грязи, опавших листьев, снега и вывоз мусора, грязи, бытовых отходов, опавших листьев в специально отведенные для этого места.

Законодательство Белоруссии также уделяет внимание обращению с листовым опадом. Так решением Минского горсовета от 30.03 2018 г. № 30 о внесении дополнений и изменений в решение Минского городского Совета депутатов от 16 ноября 2016 г. № 252, п. 22 строго регламентирует размер участков, подлежащих уборке от листового опада и территорий не затрагиваемых этой уборкой.

• Необходимость убирать листья из-под деревьев продиктована безопасностью передвижения, чтобы они не перелетали на пешеходные дорожки и на проезжую часть. В мокрую погоду от листьев на дороге человек может поскользнуться, у машин тормозной путь увеличивается, траектория движения становится непредсказуемой. В мороз листья еще могут примерзать к дорожкам. Кроме того, на дорогах находятся решетки ливневой канализации, и неубранные листья забивают эти решетки. Российское законодательство в Правилах создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы (Постановление N 743-ПП от 10 сентября 2002 года) [16] Разделом 4. Содержание зеленых насаждений и природных сообществ, Параграфом 4.2. Содержание газонов обязывает пунктом 4.2.2.

Аналогичные правила содержания зеленых насаждений приняты практически всеми администрациями городов Украины, Белоруссии, России.

Директивы 2008/98/ЕС и 1999/31/ЕС [17] Европейского парламента также уделяют внимание проблеме биоразлагающихся отходов, к чему и относится листовый опад. Они устанавливают следующие цели: объем биоразлагающегося городского мусора, направляемый на наземные свалки, необходимо максимально уменьшить до определенной пропорции к общему количеству. Одной из главных целей и выгод от уменьшения сбросов биоразлагающегося мусора на наземных свалках является сокращение эмиссии метана – важной причины парникового эффекта и гораздо более вредного для климата, чем CO₂. Более того, Директива по Наземным Свалкам запрещает выброс целой серии отходов на наземных свалках (Статья 5(3)).

Целями данного Европейского законодательства является стимулирование переработки отходов:

- использование отходов в качестве ресурса при производстве вторичных материалов и энергии;
- сокращение территорий, необходимых под наземные свалки, количества загрязненных участков.

Таким образом, переработка и восстановление отходов предпочтительно должны осуществляться по отношению к захоронению отходов на мусорных свалках, как определено Иерархией Отходов Рамочной Директивы по Отходам ЕС.

Ряд законодательных запретов ставит в тупик ответственных лиц хозяйственных и коммунальных предприятий.

Предлагаемое законодательством компостирование оставляет ряд санитарно-экологических и организационных вопросов открытыми.

Определяют следующие типы компостирования:

1. Традиционный компост – это стабилизированный продукт разложения растительных и животных остатков при высоких температурах с помощью термофильных микроорганизмов. Один из главных недостатков такого компостирования – потери азота при улетучивании аммиака во время термофильной стадии процесса.

К тому же при традиционном компостировании происходит метановое брожение с той или иной степенью интенсивности.

В биомассе присутствуют органические соединения, которые начинают распадаться на простейшие органические соединения. Эта первая стадия компостирования называется гидролизом и протекает под воздействием ацетогенных бактерий. На второй стадии происходит окисление части простейших органических соединений под воздействием гетероацетогенных бактерий, в результате получается

CH_3COOH (ацетат), CO_2 (диоксид углерода) и H_2 (водород). Часть органических соединений с полученным на 2-ой стадии ацетатом образует простейшие органические кислоты. Эти вещества являются питательной средой для метанообразующих бактерий 3-й стадии. Третья стадия протекает по двум процессам, вызванным различными группами бактерий. Эти две группы бактерий преобразуют питательные соединения 2-ой стадии в метан CH_4 , воду H_2O и диоксид углерода CO_2 .

Таким образом, процесс, происходящий в бактериальной биомассе, является конверсией сложных органических соединений – полисахаров, жиров и белков в метан CH_4 и оксид углерода CO_2 , последние из которых являются парниковыми газами, образование которых находится под пристальным вниманием мирового природоохранного законодательства.

2. Вермикомпостирование – это процессы биоокисления и стабилизации органических материалов в результате совместной деятельности компостных червей и мезофильных микроорганизмов. В отличие от традиционного компоста вермикомпост при соблюдении оптимальных режимов никогда не нагревается выше окружающей температуры, не выделяется метан и значительно меньше, в рамках физиологической природной необходимости, диоксид углерода.

ГОСТ Р 56004-2014 определяет вермикомпосты как органические удобрения, производимые в результате переработки органических отходов животноводства, растениеводства и осадков сточных вод дождевыми червями семейства Lumbricidae.

Вермикомпостирование рассматривается как удобный метод утилизации палой листвы для городских хозяйств. Этот метод переработки и утилизации разных органических отходов, основанный на использовании червей *Eisenia fetida* (Sav.) признается многими авторами перспективным. Черви способны накапливать в теле тяжёлые металлы и переводить их в связанные формы, недоступные для растений, что позволяет применять полученный биогумус в разных сферах хозяйствования.

Из всех экологических групп дождевых червей только черви-эпигеики подходят для вермикультурирования и вермикомпостирования. К этой экологической категории и принадлежат черви вида *Eisenia fetida* (Stewart, 2004). Это так называемые «поверхностноживущие». В природе черви-эпигеики живут в верхнем слое почвы или на границе лесной подстилки и поверхности почвы. Поэтому этот вид червей удобно использовать в лабораторных экологических экспериментах. Эти виды червей стремятся оставаться в бурте с пищевым субстратом, не роют глубокие ходы и не склонны мигрировать, они являются космополитами и приспособлены к существованию в разных условиях среды. Выбор вида дождевого червя, подходящего для практического использования при вермикомпостировании, основан на следующих биологических, экологических, поведенческих и продукционных характеристиках:

- способность колонизировать органические отходы естественным образом;
- высокие скорости поглощения, переваривания и ассимиляции органических веществ;
- устойчивость к широкому диапазону факторов окружающей среды;
- высокая скорость репродукции, то есть производить большое количество коконов с коротким периодом созревания (вылупления), высокая скорость роста при коротком периоде половозрелости;
- толерантность к изменениям условий окружающей среды и отсутствие реакций при обслуживании рабочим персоналом вермикультуры.

Фактически только шесть видов используются широко для вермикомпостирования в разных странах:

Eisenia fetida (Savigny, 1826);
Eisenia andrei (Bouche, 1972);
Dendrobaena veneta (Rosa, 1886);
Perionyx excavatus (Perrier, 1872);
Lampito mauritti (Kinberg);
Eudrilus eugeniae (Kinberg, 1867).

Для использования в зоне умеренного климата подходят первые три вида указанных червей. В среднем размер взрослых особей этих червей составляет 4...8 мм × 50...100 мм, вес 0,25...0,92 г, половозрелость наступает в возрасте 21–65 дней, число коконов в день 0,28...0,50, инкубационный период 18–42 дня, число червей в коконе 1,1...3,8, жизненный цикл 45–150 дней, оптимальная температура выращивания 25 °С (для *Eisenia fetida* и *Eisenia andrei* ограничивающие пределы температуры составляют 4...30 °С, для *dendrobaenaveneta* 15...25 °С), оптимальная влажность 75...85 % (для *Eisenia fetida* и *Eisenia andrei* ограничивающие пределы влажности составляют 70...90 %, для *Dendrobaena veneta* 65...75 %).

Черви во много раз ускоряют процесс разложения органических остатков, позволяют комплексно перерабатывать органические отходы растительного происхождения, используя при этом небольшие площади.

Компостные черви не только улучшают структуру грунтов, оптимизируя их водно-воздушные свойства. В процессе своей жизнедеятельности они выделяют в окружающую их среду огромное количество ферментов, витаминов и других биологически активных веществ.

Обладая очень сильным микробиологическим и ферментным внутренними комплексами, пропуская через свой желудочно-кишечный тракт органический пищевой субстрат черви осуществляют своеобразный селективный отбор микроорганизмов, подавляя одни виды и, напротив, стимулируя размножение других. Что, в результате, становится очень полезным для грунтов. По литературным данным, после прохождения желудочно-кишечного тракта червя погибают 95...100 % семян сорных растений и патогенная микрофлора.

В кишечнике червей развиваются процессы полимеризации низкомолекулярных продуктов распада органических веществ, в результате чего и формируются молекулы гуминовых кислот, образующие комплексные соединения с минеральными компонентами почвы, прежде всего с кальцием (гуматы кальция). Последние долго сохраняются, делают почву структурной, что предупреждает ветровую и водную эрозии.

Также уникальна способность дождевых червей образовывать, мелиорировать и структурировать почву.

Помимо вышесказанного, копролиты (экскременты) дождевого червя, окруженные пленкой из своеобразного биополимера, не сразу отдают питательные вещества в почву, а имеют пролонгирующий эффект. Таким образом, внесение вермикомпоста как удобрения необходимо один раз в два-три года, а не ежегодно, как химические удобрения, тем самым сокращаются финансовые вложения на транспортные расходы при обработке и содержании сельхозугодий.

Технологии вермикомпостирования требуют создания компостных смесей для оптимизации среды обитания и функционирования червей при переработке того или иного отхода. Создание этих смесей не должно быть трудоемким и финансовозатратным. Например, рекомендуемый для таких смесей торф как наполнитель совершенно не подходит для Донецкого региона. Так как природный торф тут не добывают, а закупать его в масштабах переработки городского листового опада дорого. Помимо этого, популяция червей сильно зависит от изменения компостных пищевых смесей, вплоть до летальных реакций.

В связи с вышесказанным требуется разработка и внедрение экологичной, малозатратной и финансово выгодной методики утилизации листового опада городских территорий г. Донецка, что является одной из актуальных задач при формировании санитарно-гигиенической и экологической безопасности города.

ВЫВОДЫ

1. Приведенные выше законодательные акты считают необходимым частичную уборку листьев городских территорий; определены территории, на которых уборка листьев нецелесообразна.
2. Всеми уровнями законодательства однозначно введен запрет на сжигание листьев и других растительных остатков.
3. Законодательствами разных стран как способ утилизации листового опада рекомендованы биокompостирование или вывоз на свалку.
4. Более выгодным, чем обычное компостирование, является вермикомпостирование.
5. Актуальным является поиск методов адаптации вермикомпостирования листового опада под промышленные и климатические условия Донецкого региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возможности комплексного использования палой лис­твы / А. Ф. Дмитрук, Ю. О. Лесишина, Т. Г. Шендрик [и др.]. – Текст : непосредственный // Химия растительного сырья. – 2005. – № 4. – С. 71–78.
2. Дрозд, Г. Я. Биотехнологические вопросы утилизации осадков сточных вод / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хавортов. – Текст : непосредственный // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 3 (3) – С. 12–26.
3. Ларионов, М. В. Накопление древесными растениями тяжелых металлов в зависимости от автотранспортной нагрузки / М. В. Ларионов. – Текст : непосредственный // Биология Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2014. – № 4 (1). – С. 228–232.

4. Сорока, М. Л. Экологическая оценка сезонных муниципальных отходов на основе опалой листвы зон зеленых насаждений города Днепрпетровск / М. Л. Сорока, Л. А. Ярышкина. – Текст : непосредственный // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2012. – № 38. – С. 183–192.
5. Вермикомпост на основе листового опада – перспективное кальциевое удобрение / К. А. Петрович, А. В. Куровский, А. С. Бабенко, Ю. Е. Якимов. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2015. – № 2 (30). – С. 20–34.
6. Соловьева, Е. А. Влияние листового опада на формирование почв в городской черте / Е. А. Соловьева, Е. М. Эпельбаум. – Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 22–23 ноября 2017 года ; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – 2017. – С. 1–5.
7. Титов, И. Н. Вермикультура как возобновляемый источник животного белка из органических отходов / И. Н. Титов, В. М. Усоев. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 2 (18). – С. 74–80.
8. Трискиба, С. Д. Утилизация осадка сточных вод канализационных очистных сооружений Донецкой области / С. Д. Трискиба, И. И. Полохина, Е. А. Широкоступ. – Текст : непосредственный // Восстановление нарушенных природных экосистем : материалы V международной научной конференции. – Донецк. – 2014. – С. 409–410.
9. Харитонов, Б. А. Некоторые аспекты токсических свойств палой листвы и пути ее утилизации / Б. А. Харитонов, М. Б. Старостенко, В. В. Хазипова. – Текст : непосредственный // Вестник Академии гражданской защиты. – 2017. – 3(11) – С. 10–19.
10. Об утверждении Государственного классификатора отходов Донецкой Народной Республики (ГКО ДНР) : Приказ Министерства юстиции Донецкой Народной Республики № 713 от 25.11.2019. – Текст : электронный // Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики : официальный сайт. – [2019]. – URL: <https://gisnpa-dnr.ru/npa/0116-713-20191125/> (дата обращения: 10.09.2021).
11. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення : затверджено Постановою Головного державного санітарного лікаря України 01.07.1999 N 29 ; Український науковий гігієнічний центр МОЗ України. – [Б. м. : б. и.], 1999. – 22 с. – Текст : непосредственный.
12. Про благоустрій населених пунктів : Закон України № 509-VI від 16.09.2008 : ВВР, 2008, № 48 : [станом від 01.08.2012 – Закон України від 06.07.2012 № 5179-VI] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2005. – № 49. – Ст. 517. 1. – Текст : непосредственный.
13. Об утверждении Правил содержания зеленых насаждений в населенных пунктах Украины : Приказ № 105 от 10.04.2006 г. : утверждено Министерством строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины. – [Киев : б. и.], 2006. – 50 с. – Текст : непосредственный.
14. Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы : Постановление N 743-ПП от 10 сентября 2002 года : с изменениями и дополнениями согласно постановлениям Правительства Москвы. – [Москва : б. и.], [2002]. – 373 с. – Текст : непосредственный.
15. Об отходах и признании утратившими силу некоторых распоряжений : Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2008/98/EC от 19 ноября 2008 г. : Рамочная Директива по Отходам (РДО, Waste Frame work Directive). – [сайт], 2008. – URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/legislation/a.htm> (дата обращения: 10.06.2021).

Получена 08.10.2021

І. І. ПОЛОХІНА ЗАКОНОДАВЧІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ПАЛИМ ЛИСТЯМ У МІСТОБУДУВАННІ М. ДОНЕЦЬКА ДОУ ВПО «Донецький національний університет»

Анотація. Дана стаття присвячена огляду та аналізу законодавства у сфері поводження з відходом IV класу небезпеки – впадлим листям з метою визначити законодавчо-обумовлений шлях (метод) утилізації листового опаду. Показано, що в сучасному містобудуванні зелені насадження виконують значну санітарно-екологічну функцію, проте несуть у собі певні житлово-комунальні та екологічні проблеми. Визначено основні функції зелених насаджень, найбільш важливими з яких є: *оптимізація температурно-вологого режиму*, іонізація повітря, бактерицидна дія деяких видів рослин, пиловловлювальна здатність, газостійкість та газозуловлення, покращують естетичне сприйняття міського середовища [9]. Показані негативні фактори, пов'язані з утворенням листового опаду, наслідки деяких несанкціонованих способів поводження з опалим листям. Проведено огляд існуючого законодавства у сфері поводження з опалим листям. Затверджений законодавством метод компостування не вирішує питання з політантами в листі, що перепріло. Запропоновано екологічно безпечний, біологічний, мало-витратний спосіб переробки листового опаду методом вермикультивування з метою вирішення комунальної проблеми утилізації відходу IV класу небезпеки.

Ключові слова: опале листя, зелені насадження, політанти, компостування, листовий опад, вермикомпостування, законодавчі акти, нормативні акти.

IRINA POLOKHINA

LEGISLATIVE ASPECTS OF THE PROBLEM OF HANDLING DEAD LEAVES IN
URBAN DEVELOPMENT OF DONETSK

SEI HPE «Donetsk National University»

Abstract. This article is devoted to the review and analysis of legislation in the field of waste management of hazard class IV – dead foliage in order to determine the legally determined way (method) of disposal of leaf litter. It is shown that in modern urban planning, green spaces perform a significant sanitary and ecological function, but they also carry certain housing and communal and environmental problems. The main functions of green spaces have been determined, the most important of which are: *optimization of temperature and humidity conditions*, air ionization, bactericidal action of some plant species, dust-collecting ability, gas resistance and gas trapping, improve the aesthetic perception of the urban environment [9]. The negative factors associated with the formation of leaf litter, the consequences of some unauthorized methods of handling dead foliage are shown. A review of the existing legislation in the field of handling fallen leaves was carried out. The composting method approved by law does not solve the problem of pollutants in rotted foliage. An ecologically safe, biological, low-cost method of processing leaf litter by the method of vermicultivation is proposed in order to solve the communal problem of disposal of waste of IV class hazard.

Key words: fallow leaves, green spaces, pollutants, composting, leaf litter, vermicomposting, legislative acts, regulations.

Полохина Ирина Ивановна – старший лаборант кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Научные интересы: биоконверсия органических отходов, микология, охрана окружающей природной среды.

Полохіна Ірина Іванівна – старший лаборант кафедри фізіології рослин ДООУ ВПО «Донецький національний університет». Наукові інтереси: біоконверсія органічних відходів, мікологія, охорона навколишнього природного середовища.

Polokhina Irina – Senior Laboratory, Plant Physiology Department, SEI HPE «Donetsk National University». Scientific interests: bioconversion of organic waste, mycology, environmental protection.

УДК 628.396

А. С. ПАВЛЮЧЕНКО^а, Н. И. ГРИГОРЕНКО^б, П. В. ПОЛИЩУК^б^а ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ», ^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ОБВЯЗКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УЗЛОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Аннотация. Надежность противопожарного водоснабжения напрямую зависит от выбора пожарных насосов и их правильной обвязки. В статье рассмотрены основные недочеты в распространенной схеме обвязки пожарных насосов и предложена схема более надежная и удобная в эксплуатации. При этом учтены неблагоприятные факторы работы сети, вызывающие гидроудары, работа системы как в зимний, так и в летний период года, а также при ложном срабатывании системы. Рассмотрено влияние введения в схему обвязки линии пробного пуска при изменении показателей графика совместной работы «насос-трубопровод», а также предложен вариант подбора оборудования и диаметра трубопровода пробного пуска пожарного насоса, которые позволяют ему работать в пределах высокого КПД и уменьшить износ технологических узлов системы пожаротушения.

Ключевые слова: пожаротушение, пожарные насосы, обвязка насосов, линия пробного пуска.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Защита жизни и здоровья населения, предотвращение ущерба от пожаров – одна из важнейших задач противопожарного водоснабжения. Современное время диктует свои правила, которые основаны на экономичности и надежности данных систем. Обеспечение подачи воды в противопожарный трубопровод является задачей насосной станции. Наиболее распространенным типом противопожарных насосов являются центробежные насосы, регулирование производительности которых имеет большой потенциал экономии электроэнергии. Количество всасывающих и напорных линий на насосной станции должно быть не менее двух [1], независимо от числа работающих насосных агрегатов. На сети трубопроводов обязательно устанавливается запорная и защитная арматура. Для регулирования в системе применяются напорно-регулирующие баки. Таким образом, эффективность устранения пожара напрямую зависит от слаженной работы всех перечисленных элементов противопожарной системы, на что, собственно, и влияет обвязка насосов и оборудования.

В данной статье предлагается рассмотреть возможные варианты обвязки пожарных насосов, которые повышают их надежность и в долгосрочном ведут к снижению затрат на эксплуатацию, а также повышают удобство в обслуживании.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы эффективности регулирования производительности и управления насосными агрегатами достаточно часто встречаются в литературе. Чаще предлагают гидродинамический или частотно-регулируемому методы [6]. Что касается схем обвязки насосов и оборудования, то обычно предлагаются классические схемы, которые встречаются в учебниках и которыми проектировщики пользуются достаточно давно. Это схемы обвязки пожарного насоса при одном вводе и одном выходе, двух пожарных насосов при двух вводах и двух выходах, а также схема обвязки трех пожарных насосов при двух вводах и двух выходах. Одна из таких схем будет рассмотрена далее как пример и основа для модернизации.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Повышение надежности и эксплуатационных характеристик работы насосных станций пожаротушения с центробежными насосами путем рациональной обвязки насосов и трубопроводов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Независимо от количества насосов и схемы обвязки технологических узлов насосных станций пожаротушения установка должна обеспечивать подачу воды на тушение пожара от любого ввода на прямую через обводную линию, от любого насосного агрегата или от любой группы насосных агрегатов. Ни для кого не секрет, что пожарные системы проектируют так, что основное время они находятся в ожидании и срабатывают только во время пожара, но на самом деле многие забывают учесть пробные включения насоса во время эксплуатации.

На основании нормативных документов [1, 2] группа эксплуатации должна производить пробные пуски пожарных насосов с определенной периодичностью для разных промышленных объектов. Под пробным пуском понимается поочередный ввод насосов в работу для того, чтобы убедиться в их технической исправности, а также для профилактики работы сальниковых соединений. Если выполнить обвязку как это предложено в классических учебниках по водоснабжению, то служба эксплуатации придется постоянно сливать огромное количество воды (часто подготовленной) в систему

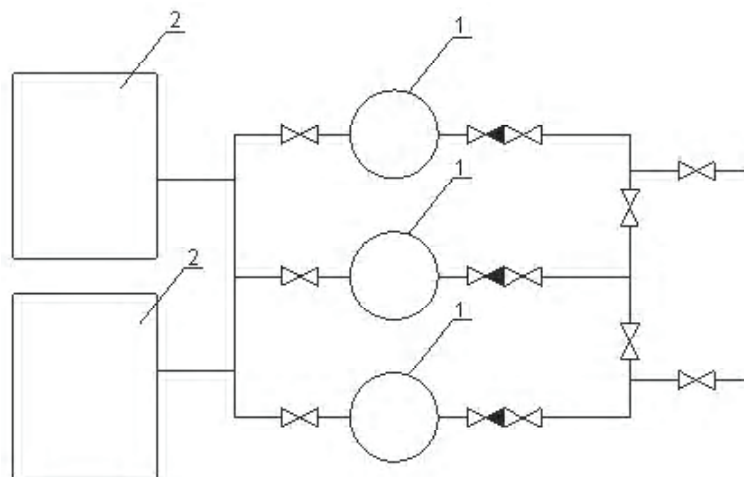


Рисунок 1 – Распространенная схема обвязки насосов: 1 – противопожарный насос; 2 – пожарные резервуары.

канализации, т. к. чтобы проверить особо мощные насосы требуется работа данного агрегата в течение от 30 сек до 5 минут, а насосов на объекте может быть от 2 и более. Если не предусмотреть слив воды в системах пожаротушения, это может привести к гидроудару в системе. Эта проблема очень актуальна на промышленных объектах, которые расположены на Крайнем Севере, где эксплуатация пожарных насосов по распространенной схеме, приведенной на рисунке 1, становится еще более проблематичной из-за низких температур.

Также в связи со сложившейся пожарной обстановкой в Российской Федерации на большинстве объектов применяется автоматическая

система обнаружения пожаров. Но практика показала, что во время эксплуатации постоянно происходят ложные срабатывания пожарной сигнализации – это одна из самых актуальных проблем на данный момент [3].

Если инженер-проектировщик применит схему обвязки насосов, указанную на рисунке 1, то при ложном срабатывании системы может запуститься пожарный насос, и если в системе на данный момент нет водоразбора или он минимален, то создаются условия для гидроудара. В свою очередь, это ведет к выходу из строя части системы пожаротушения, что крайне нежелательно на промышленных объектах, а также несет материальный ущерб. На сетях, где трубопроводы имеют достаточно большую длину, может возникнуть серьезное повреждение линии, но даже в пределах насосной станции незакрепленные участки труб без промежуточных опор могут быть повреждены резонансными колебаниями.

Всего этого можно избежать, если применить схему обвязки насосного оборудования с линией пробного пуска, представленную на рисунке 2.

Причем, если клапан в схеме как на рисунке 2 настроить на давление $P_{\max} + 3...5\%$, система пожаротушения становится более защищенной от гидроударов, которые могут возникать не только при ложном срабатывании, но и при тушении пожара, что повышает ее надежность при минимальных вложениях.

Еще одной особенностью данной схемы является ее гибкость при изменении показателей графика совместной работы «насос-трубопровод». Трубопровод пробного пуска пожарных насосов позволяет

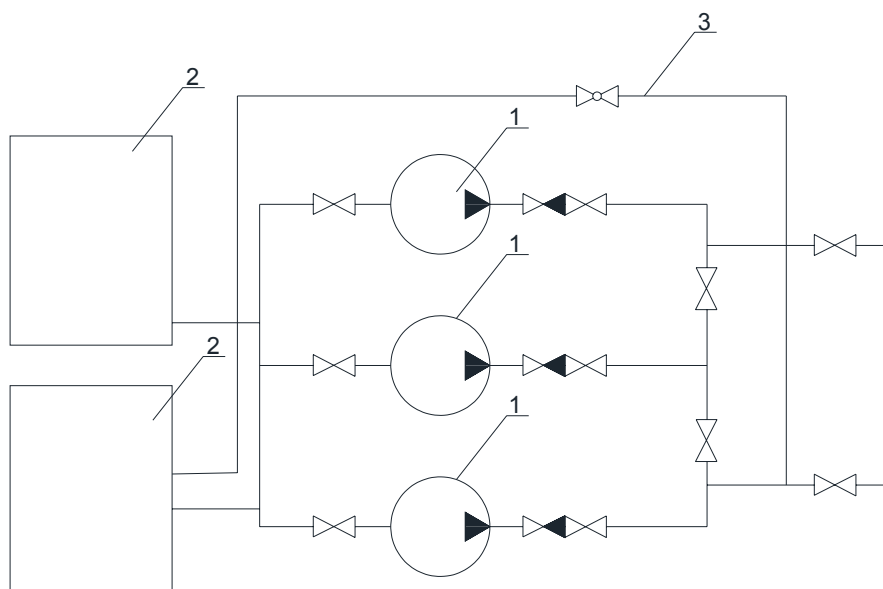


Рисунок 2 – Схема обвязки насосов с линией пробного пуска: противопожарный насос; 2 – пожарные резервуары; 3 – линия пробного пуска; 4 – кран шаровый.

насосному оборудованию находиться в рабочей зоне даже при авариях на линии, резком закрытии или заклинивании запорной арматуры. Данный момент важен, поскольку техническое состояние и определение остаточного ресурса центробежных насосов учитывает время работы насоса при закрытой арматуре на напорном патрубке, которое не должно превышать времени, указанного в эксплуатационной документации [5].

Особенности проектирования данной системы заключается в том, чтобы правильно подобрать диаметр трубопровода пробного пуска. На практике чаще всего его диаметр принимают по расходу одного насоса.

На трубопроводе пробного пуска насоса желательно устанавливать кран шаровый регулирующий для того, чтобы служба эксплуатации могла при проведении пуско-наладочных работ создать требуемые потери напора и насос даже при пробном пуске работал, не выходя из рабочей зоны, что уменьшит износ оборудования.

Также важно учесть работу насосных станций в летний период, когда температура воды в исходных резервуарах повышается. Так как пробный пуск насоса особенно высокомоощных агрегатов способен нагревать воду, то при смешении воды из трубопровода пробного пуска с исходной водой может повышаться исходная температура воды в резервуаре, что в свою очередь может привести к возникновению кавитации.

ВЫВОД

Исследования применения в схеме обвязки насосов и оборудования на насосных станциях пожаротушения линии пробного пуска показали, что данная схема обвязки является энергоэффективной, проста в обслуживании, в ней нет сложных частей или механизмов. Предложенный в работе способ обвязки позволяет работать насосам в пределах высокого КПД, препятствует возникновению гидродаров, успешно работает независимо от температуры окружающей среды, а также при ложном срабатывании системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 8.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности = The fire protection systems. Outdoor fire-fighting water supply. Fire safety requirements : утвержден и введен в действие Приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 30 марта 2020 г. N 225 : взамен СП 8.13130.2009 : дата введения 2020-09-30 / разработан и внесен ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 18 с. – Текст : электронный. – URL: (<https://docs.cntd.ru/>)

- document/565391175) (дата обращения: 01.10.2021).
2. Российская Федерация. Законы. О пожарной безопасности : Федеральный закон № 69-ФЗ : [принят Государственной думой 18 ноября 1994 года : одобрен Советом Федерации 21 декабря 1994 года]. – Москва: Проспект; Санкт-Петербург : Кодекс, 2020. – 32 с. – ISBN 978-5-392-13042-9. – Текст : непосредственный.
 3. Ложные тревоги систем пожарной сигнализации / Н. А. Пашкевич, Е. А. Расщекина, Е. Лытягин [и др.]. – Текст : непосредственный // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 15. – С. 150–156.
 4. Шпилькин, А. П. Противопожарное водоснабжение на предприятиях хранения нефтепродуктов / А. П. Шпилькин, С. О. Потапова. – Текст : непосредственный // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – № 9 (1). – С. 1006–1008.
 5. Экспертиза промышленной безопасности центробежных насосов / Е. В. Сенаторова, А. И. Смирнов, Т. В. Шипунова, М. В. Шабалин. – Текст: непосредственный // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – № 1 (22). – С. 116–118.
 6. Agbadede, R. Techno-economic analysis of the influence of different operating conditions on gas turbine centrifugal compressor set performance / R. Agbadede, B. Kainga. – Текст: непосредственный // Nigerian Journal of Technology (NIJOTESN). – 2020. – № 4 (39). – С. 1150–1157.

Получена 07.10.2021

О. С. ПАВЛЮЧЕНКО ^a, Н. И. ГРИГОРЕНКО ^b, П. В. ПОЛИЩУК ^b
 СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ПИТАННЯ ОБВ'ЯЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
 ВУЗЛІВ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

^a АТ «ЮЖНІІГІПРОГАЗ», ^b ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Надійність протипожежного водопостачання залежить від вибору пожежних насосів та їх правильної обв'язки. У статті розглянуті основні недоліки у поширеній схемі обв'язки пожежних насосів та запропоновано схему більш надійну та зручну в експлуатації. При цьому враховані несприятливі фактори роботи мережі, що викликають гідроудари, робота системи як у зимовий, так і в літній період року, а також при помилковому спрацюванні системи. Розглянуто вплив змін у схемі обв'язки за зміни показників графіка спільної роботи «насос-трубопровід», а також запропоновано варіант підбору обладнання та діаметра трубопроводу пробного пуску пожежного насоса, які дозволяють йому працювати в межах високого ККД.

Ключові слова: пожежогасіння, пожежні насоси, насоси, лінія пробного пуску.

ALEKSANDR PAVLUCHENKO ^a, NADEZHDA GRIGORENKO ^b,
 PAVEL POLYSHCHUK ^b
 MODERN APPROACH TO THE ISSUE OF PIPING OF TECHNOLOGICAL
 UNITS OF PUMPING STATIONS FOR FIRE EXTINGUISHING

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

Abstract. The reliability of fire-fighting water supply directly depends on the choice of fire pumps and their correct piping. The article discusses the main shortcomings in the common piping scheme for fire pumps and offers a more reliable and convenient scheme. At the same time, the unfavorable factors of the network operation, which cause water shocks, the operation of the system both in winter and summer periods of the year, as well as in case of false triggering of the system, are considered. The influence of changes in the piping scheme when changing the parameters of the «pump-pipeline» joint work schedule is considered. An option is also proposed for the selection of equipment and the diameter of the pipeline for the test run of the fire pump, which allow it to operate within the limits of high efficiency.

Key words: fire extinguishing, fire pumps, pump piping, test run line.

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 водоснабжения и водоотведения, очистка сточных вод.

Полищук Павел Вячеславович – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охрана водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование систем водоснабжения и водоотведения.

Павлюченко Олександр Сергійович – інженер-проектувальник I категорії АТ «ЮЖНІІГПРОГАЗ». 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 ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування систем водовідведення, очищення стічних вод.

Поліщук Павло В'ячеславович – магістрант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування систем водопостачання і водовідведення.

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 supply and water disposal systems wastewater treatment.

Polyshchuk Pavel – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of water supply and water disposal systems.

УДК 622.817.47

Е. Л. ГОЛОВАТЕНКО, В. А. МАРКИН

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ ВАКУУМ-НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Аннотация. Горнодобывающая промышленность является одной из важнейших отраслей производства. В горной промышленности попутно с добычей полезных ископаемых забирается вода, объем которой в несколько раз превышает объем потребления ее промышленными предприятиями отрасли. Наибольшее отрицательное воздействие на водные объекты Донбасса оказывают сбрасываемые шахтные воды. Это объясняется их огромным притоком, низким качеством по многим показателям, несоответствующим современным требованиям правил охраны поверхностных вод от загрязнения, из-за чего в гидрографическую сеть региона ежегодно поступает около 2 млн т минеральных солей, огромное количество взвешенных веществ. В связи с экологическими проблемами, возникающими в горнодобывающих районах, на шахте должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по охране окружающей среды. Повышение экологической безопасности угольных шахт можно обеспечить за счет использования шахтных вод в оборотных циклах котельных и дегазационных установок.

Ключевые слова: угольные шахты, шахтная вода, оборотные циклы, дегазация, вакуум-насосные станции.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Наиболее сложной и актуальной экологической проблемой угледобывающих регионов, по данным многих авторов, являются сбрасываемые в водные объекты шахтные воды, которые не соответствуют правилам охраны поверхностных вод по четырем критериям:

- а) высокая минерализация, которая обуславливает непригодность речной воды для целей водоснабжения, рыбозаведения и т. д.;
- б) загрязненность взвешенными веществами (90...100 мг/дм³), что вызывает заиливание;
- в) бактериальная загрязненность;
- г) повышенное содержание тяжелых металлов (содержание которых превышает величину ПДК до 15 раз) [1].

По данным Государственного комитета статистики лишь 16 % от общего объема возвратных вод, сбрасываемых в водные объекты Донецкой Народной Республики, составляют сточные воды, а 84 % шахтные. Использование шахтной воды в оборотных циклах вакуум-насосных станций требует проведения исследований и является важной научно-технологической задачей.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

На практике откаченная шахтная вода или сбрасывается в водные объекты, или используется для различных технических и хозяйственных нужд.

Рассматривая направление использования шахтных (карьерных) вод, можно выделить предприятия, которые постоянно нуждаются в больших объемах воды и находятся в непосредственной близости от горных предприятий. Следует отметить, что сама угольная шахта является крупным потребителем воды [2, 3].

Использование шахтных вод для технического водоснабжения угольных предприятий осуществляют по следующим основным технологическим направлениям:

© Е. Л. Головатенко, В. А. Маркин, 2021

- обогащение угля мокрым способом;
- пылеподавление, орошение и увлажнение угля;
- дегазация угольных пластов;
- кондиционирование воздуха;
- котельные установки;
- выработка сжатого воздуха;
- охлаждение технологического оборудования;
- другие производственные нужды (профилактика породных отвалов, гидрозолоудаление, тушения шлака, гидросмыв просыпей, борьба с пылью на автодорогах и промплощадках, другие технические нужды) [4].

Анализ технологических направлений использования шахтных вод показал, что наиболее крупными потребителями воды с оборотными циклами является дегазационные системы и системы теплофикации. Использование карьерных вод в котельных с применением паровых водотрубных котлов низкого (до 1,4 МПа) давления и водогрейных водотрубных котлов с температурой сетевой воды на выходе до 115 °С при закрытых системах водоснабжения, для производства тепловой энергии, способствует экономии питьевой воды. Вопросы использования вод повышенной минерализации, в частности шахтных вод для промышленных и коммунальных потребителей, рассмотрены в работах С. П. Высоцкого и С. Е. Гулько [5, 6].

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Шахтные воды являются не единственной экологической проблемой, возникающей на угольных шахтах.

Угольные пласты содержат метан. Большая часть метана (около 90 %) находится в угольных пластах в сорбированном состоянии, остальной – заполняет трещины и пустоты в породном массиве и растворяется в подземных водах. Выделение метана из угля возможно при условии нарушения сорбционного равновесия и увеличения проницаемости угленосного массива, по которому газ движется к скважинам, т. е. ведение горных работ.

Выделение метана становится одним из основных факторов, повышающих опасность ведения горных работ в угольных шахтах, о чем свидетельствуют взрывы метановоздушных смесей, которые происходят на шахтах. Таким образом, попутно с добычей угля в выработки выделяется метан. При невысоких уровнях метановыделения в горных выработках производится разбавление метана до безопасных концентраций с помощью средств проветривания (вентиляция)

В тех случаях, когда средствами вентиляции невозможно обеспечить содержание метана в горных выработках в пределах допустимых Правилами безопасности норм, применяется дегазация, которая является эффективным средством обеспечения безопасных атмосферных условий в горных выработках. Кроме того, дегазация может снять ограничения нагрузок на лавы и темпов проведения горных выработок по газовому фактору.

Дегазационной системой является совокупность средств, которые обеспечивают извлечение и удаление шахтного метана, включая дегазационные скважины, газопроводы, вакуум-насосы, контрольно-измерительную и запорно-регулирующую аппаратуру. Одной из основных составляющих дегазационной системы являются вакуум-насосы и вакуум-насосные станции (ВНС). При дегазации угольных пластов вакуум-насосными установками вода используется как охлаждающая и рабочая жидкость. Поэтому к качеству воды, используемой в оборотных циклах ВНС, существуют определенные требования [7].

Критериями оценки пригодности использования шахтных вод для технических потребностей угольных предприятий являются следующие параметры:

- минерализация (сухой остаток), а также жесткость, щелочность, водородный показатель pH, обусловленные катионно-анионным составом воды;
- содержание загрязняющих веществ I–III класса опасности;
- содержание взвешенных веществ;
- радиационная безопасность;
- эпидемиологическая безопасность;
- запах;
- ограничение показателей отдельных параметров по результатам производственных испытаний (наладки) оборудования или технологического процесса;

– возможность организации зон санитарной охраны (при необходимости) и использования технологии очистки, обеззараживания, водоподготовки шахтных вод и инженерное обеспечение в соответствии со СанПиН 2.2.4-171-10 [8].

Возможность использования шахтных вод для технического водоснабжения должна оцениваться с учетом:

- особенностей условий формирования шахтных вод; химического макро- и микрокомпонентного состава;
- бактериального загрязнения и содержания взвешенных веществ;
- способов подготовки и очистки шахтных вод и технических возможностей инженерного обеспечения. Требования к качеству технической воды, используемой для дегазации, указаны в таблице [9, 10].

Таблица – Показатели качества технической воды, используемой для дегазации угольных пластов

Наименование показателей	Величина показателя
Взвешенные вещества, мг/дм ³	<40*)
Запах, балл	< 3
Водородный показатель рН, (в диапазоне), единицы	6,5...8,5
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	< 7,0 *)
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм ³	< 7,0 *)
Минерализация общая, мг/дм ³	< 2000*)
Показатели радиационной безопасности:	
– общая объемная активность альфа-излучения, Бк/дм ³	0,1
– общая объемная активность бета-излучения, Бк/дм ³	1,0
Наименование показателей	Величина показателя
Токсичные и опасные вещества 1-3 класса опасности	< ПДК)
Коли-индекс	< 100 **)
Индекс коли-фагов, БУЕ/дм ³	< 100 **)

Примечание:

*) Должны соответствовать требованиям технических условий технического процесса.

**) Принимаются в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00, СанПиН 2.1.4.1074-01 и СанПиН 2.2.4-171-10 [8].

Авторами предлагается использовать шахтные воды в оборотных циклах ВНС. Насосы жидкостные водокольцевые предназначены для транспортировки под вакуумом газозавоздушных и газовых смесей, в том числе взрывоопасных. Производительность дегазационной системы зависит от состояния ВНС и сети трубопроводов. Поэтому существует необходимость подготовки шахтных вод к требованиям, соответствующим требованиям технических условий. Для этого необходимо рассмотреть и изучить процессы накипеобразования в вакуум-насосах и процессы растворения газовых смесей, в том числе взрывоопасных в работающем вакуум-насосе.

ВЫВОДЫ

В ходе рассмотрения технологических направлений использования шахтных вод в оборотных циклах вакуум-насосных станций было установлено, что откачиваемая шахтная вода может использоваться для различных технических и хозяйственных нужд, в частности для обогащения угля; пылеподавления, орошения и увлажнения угля; дегазации угольных пластов; кондиционирования воздуха; охлаждения технологического оборудования. Предложено использование шахтной воды в оборотных циклах вакуум-насосных станций, в качестве рабочей жидкости при дегазации угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долина, Л. Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки : справочное пособие / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Молодежная экологическая, Лига Приднєпровья, 2000. – 114 с. – Текст : непосредственный.
2. Технологические и организационные аспекты комплексного использования ресурсов угольных месторождений / В. К. Костенко, Е. С. Матлак, М. Н. Шафоростова, Е. Л. Завьялова. – Донецк : ДонНТУ, 2008. – 514 с. – Текст : непосредственный.

3. Ступин, А. Б. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности : монография / А. Б. Ступин. – Донецк : ДонНУ, 2010. – 503 с. – Текст : непосредственный.
4. Горшков, В. А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности / В. А. Горшков. – Москва : Недра, 1981. – 269 с. – Текст : непосредственный.
5. Высоцкий, С. П. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации : монография / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько. – Донецк : «Каштан», 2014. – 316 с. – Текст : непосредственный.
6. Гулько, С. Е. Опыт и перспективы использования шахтной воды / С. Е. Гулько, И. И. Гомаль. – Текст : непосредственный // Уголь Украины. – 2013. – № 6. – С. 30–34.
7. Матлак, Е. С. Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях / Е. С. Матлак, В. Б. Малеев. – Киев : «Техника», 1991. – 136 с. – Текст : непосредственный.
8. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : наказ МОУ України від 12.05.2010 № 400. – Текст : електронний // Верховна Рада України : [сайт]. – 2010. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 22.04.2021).
9. Гавришин, А. И. Некоторые важные закономерности химического состава шахтных вод / А. И. Гавришин. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. Геолого-минералогические науки. – 2014. – № 11. – С. 465–470.
10. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды : в 2-х частях / Л. А. Кульский, И. Т. Горюновский, А. М. Когановский, М. А. Шевченко. – Киев : Наукова думка, 1980. – 1206 с. – Текст : непосредственный.

Получена 06.10.2021

К. Л. ГОЛОВАТЕНКО, В. О. МАРКІН
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБОРОТНИХ ЦИКЛІВ
ВАКУУМ-НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ
ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Гірничодобувна промисловість – одна із найважливіших галузей виробництва. У гірничій промисловості принагідно з видобутком корисних копалин забирається вода, обсяг якої у кілька разів перевищує обсяг споживання її промисловими підприємствами галузі. Найбільш негативно впливають на водні об'єкти Донбасу шахтні води, що скидаються. Це пояснюється їх величезним припливом, низькою якістю за багатьма показниками, що не відповідає сучасним вимогам правил охорони поверхневих вод від забруднення, через що в гідрографічну мережу регіону щорічно надходить близько 2 млн т мінеральних солей, безліч зважених речовин. У зв'язку з екологічними проблемами, що виникають у гірничодобувних районах, на шахті має бути передбачено комплекс заходів щодо охорони навколишнього середовища. Підвищення екологічної безпеки вугільних шахт можна забезпечити за рахунок використання шахтних вод в оборотних циклах котелень та дегазаційних установок.

Ключові слова: вугільні шахти, шахтна вода, оборотні цикли, дегазація, вакуум-насосні станції.

EKATERINA GOLOVATENKO, VICTOR MARKIN
ENVIRONMENTAL ASPECTS OF WATER SUPPLY OF ROTARY CYCLES OF
VACUUM PUMPING STATIONS OF COAL MINES ROTARY CYCLES OF
VACUUM PUMPING STATIONS OF COAL MINES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The mining industry is one of the most important industries. In the mining industry, along the way, with the extraction of minerals, water is taken, the volume of which is several times higher than the volume of its consumption by industrial enterprises of the industry. The discharged mine waters have the greatest negative impact on the water bodies of Donbass. This is due to their huge inflow, low quality in many respects, inappropriate to modern requirements of the rules for the protection of surface waters from pollution, which is why about 2 million tons annually enter the hydrographic network of the region. mineral salts, a huge number of suspended solids. In connection with the environmental problems arising in the mining areas, a set of measures for environmental protection should be envisaged at the mine. Improving the environmental safety of coal mines can be ensured through the use of mine water in the circulating cycles of boiler houses and degassing plants.

Key words: coal mines, mine water, reverse cycles, degassing, vacuum pumping stations.

Головатенко Екатерина Леонидовна – ассистент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение уровня экологической безопасности в технологических циклах оборотного водоснабжения; снижение негативного воздействия на водные объекты путем совершенствования технологии обработки сточных вод.

Маркин Виктор Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: способы и средства снижения метановыделения в очистных забоях глубоких шахт; безопасность проведения работ при бурении дегазационных скважин; разработка и внедрение способов и средств герметизации дегазационных скважин; способы дегазации сближенных пластов и выработанного пространства; разработка и внедрение способов повышения содержания метана в дегазационных системах угольных шахт; способы прогноза опасных выделений метана в горные выработки и на земную поверхность.

Головатенко Катерина Леонідівна – асистент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення рівня екологічної безпеки в технологічних циклах оборотного водопостачання; зниження негативного впливу на водні об'єкти шляхом вдосконалення технології обробки стічних вод.

Маркін Віктор Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: способи і засоби зниження метановиділення в очисних вибоях глибоких шахт; безпека проведення робіт при бурінні дегазаційних свердловин; розробка і впровадження способів і засобів герметизації дегазаційних свердловин; способи дегазації зближених пластів і виведеного простору; розробка і впровадження способів підвищення вмісту метану в дегазаційних системах вугільних шахт; способи прогнозу небезпечних виділень метану в гірничі виробки і на земну поверхню.

Golovatenko Ekaterina – Assistant, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: increasing the level of environmental safety in the technological cycles of circulating water supply; reducing the negative impact on water bodies by improving wastewater treatment technology.

Markin Viktor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: methods and means of reducing methane emission in the working faces of deep mines; safety of work while drilling degassing wells; development and implementation of methods and means for sealing degassing wells; methods of degassing adjacent seams and worked-out space; development and implementation of methods for increasing methane content in degassing systems of coal mines; methods of forecasting hazardous methane emissions into mine workings and onto the earth's surface.

УДК 66.048

Д. В. САВИЧ, Н. В. ДОЛГОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА АППАРАТОВ ПЛЕНОЧНОГО ТИПА

Аннотация. В статье проведен анализ существующих методов интенсификации теплообмена, конкретизированы основные условия для выбора оптимального метода интенсификации, выполнен анализ путей совершенствования поверхностей теплообмена. Выделены и изучены значимые интенсифицирующие факторы в аппаратах пленочного типа, а именно – влияние волнообразования; зона входного участка, которая зависит от каплеобразующего устройства; микроструктура поверхности трубы, определен наиболее эффективный вид накатки на наружной поверхности труб. Даны рекомендации по выбору метода интенсификации теплообмена. Краткое изложение современных представлений о поверхностях теплообмена показывает, что поиски путей оптимизации процессов и повышения эффективности теплообмена требуют комплексного системного рассмотрения как макро- и микроструктуры поверхности, так и условий взаимодействия поверхности с теплоносителем в конкретных задачах. Необходимо отметить, что при выборе для практического применения того или иного метода интенсификации теплообмена приходится учитывать не только эффективность самой поверхности, но и технологичность ее изготовления, технологичность сборки теплообменного аппарата, прочностные требования, загрязняемость поверхности, особенности эксплуатации и т. д.

Ключевые слова: интенсификация, поверхность теплообмена, микро- и макроструктура, пленочные аппараты, волнообразование, искусственная шероховатость, входной участок.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Интенсификация теплообмена и повышение энергетической эффективности теплообменных аппаратов представляют большой интерес и имеют огромное народнохозяйственное значение. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный и теоретический материал по этой теме, как у нас в стране, так и за рубежом. Уменьшение массы и габаритов теплообменных аппаратов является актуальной проблемой. Наиболее перспективный путь решения этой проблемы – интенсификация теплообмена. Опыт создания и эксплуатации различных тепломассообменных устройств показал, что разработанные к настоящему времени методы интенсификации теплообмена обеспечивают снижение габаритов и металлоемкости (массы) этих устройств в раза и более по сравнению с аналогичными серийно выпускаемыми устройствами при одинаковой тепловой мощности и мощности на прокачку теплоносителей. Исследования интенсификации теплообмена осуществляются в различных странах, причем в заметно возрастающем темпе.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Необходимо отметить, что проведенные ранее исследования внесли значительный вклад в решение этой проблемы, особенно в создание практически реализуемых методов интенсификации теплообмена. И только практической незаинтересованностью промышленности во внедрении высокоэффективных теплообменных аппаратов и в экономии металла можно объяснить слабое внедрение отечественных разработок в народное хозяйство.

Одним из перспективных путей создания эффективных компактных теплообменников является применение высокоэффективных поверхностей теплообмена, использование современных методов интенсификации теплообмена в аппаратах.

ЦЕЛЬ

Анализ методов и способ интенсификации процессов теплообмена; выбор возможных вариантов интенсификации для контактного пленочного теплообменного аппарата.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

При разработке теплообменного оборудования используется довольно широкий перечень способов интенсификации, некоторые из них являются для теплоэнергетики достаточно традиционными [1].

Различные способы интенсификации теплообмена в пленочных аппаратах разработаны и исследованы в неодинаковой степени, лишь часть из них доведена до уровня промышленного использования.

Способы интенсификации процессов тепло- и массообмена в тонких слоях жидкостей можно условно разделить на две группы: пассивная (конструктивная) турбулизация, не требующая дополнительных затрат энергии во время работы аппарата (искусственная шероховатость стенки, ее конфигурация и т. д.); активная (режимная) турбулизация, требующая дополнительных затрат энергии при проведении процессов (создание поля центробежных сил, механический срыв пленки, вибрация стенки, пульсация напора жидкости при распределении ее в пленку и т. д.).

В промышленных пленочных аппаратах используются как активная, так и пассивная турбулизация тонкого жидкостного слоя. Активная (режимная) турбулизация обычно более эффективна и перспективна и с точки зрения интенсификации процессов тепло- и массообмена ей следует отдать предпочтение. Однако в каждом конкретном случае необходимо учитывать также расход дополнительной энергии.

Некоторые способы интенсификации процессов тепло- и массообмена в жидкостных пленках будут рассмотрены ниже (Воронцов).

При создании любых теплообменных аппаратов (ТА) и устройств (ТУ) с помощью оптимального для конкретных целей метода интенсификации теплообмена можно добиться существенного улучшения характеристик ТА и ТУ: уменьшение металлоемкости, габаритных размеров, температуры поверхностей, рост надежности, увеличение ресурсов работы и пр.

Однако выбор оптимального метода интенсификации теплообмена определяется многими условиями, которые в каждом конкретном случае должны быть учтены. Важнейшие из этих условий следующие [2]:

- 1) цели и задачи интенсификации теплоотдачи в данном конкретном классе ТУ;
- 2) допустимые энергетические затраты на интенсификацию теплообмена и вид располагаемой для этого энергии;
- 3) гидродинамическая структура потока, в котором требуется интенсифицировать теплоотдачу; характер распределения плотности тепловых потоков или поле температур в теплоносителе; доступные способы управления структурой потока;
- 4) технологичность изготовления ТУ с интенсификацией теплоотдачи, удобство и надежность в эксплуатации.

Пути совершенствования поверхностей теплообмена.

Поискам путей совершенствования поверхностей и различным методам интенсификации конвективного теплообмена посвящено большое число работ [4]. Применение традиционных поверхностей теплообмена во многих случаях ведет к тому, что теплообменные аппараты имеют значительно завышенную площадь поверхности теплообмена.

Одной из особенностей статьи является попытка приложения методологии системотехнического подхода к анализу роли поверхности в эффективности процессов теплообмена. Необходимость этого подхода определяется комплексным рассмотрением всех факторов, определяющих свойства и структуру как собственно поверхности, так и всей пограничной поверхностной области, в которой проявляются эти свойства (и со стороны теплоносителя, и со стороны твердого тела) на доступных микро- и макроуровнях.

Макроструктура поверхности теплообмена в общем виде характеризуется наличием (или отсутствием) на поверхности каких-либо целенаправленных изменений геометрии путем технологических операций (гофрирование, выдавки, оребрение, ошиповка и др.). При их отсутствии принято называть поверхности технически гладкими. Характеристика макроструктуры технически гладких поверхностей ограничивается отклонениями формы от расчетных значений (например, для

круглых труб эллиптичностью по сечению, а по длине «бочкообразной» и другими отклонениями формы проходного сечения и внешней оболочки) (рисунок 1).

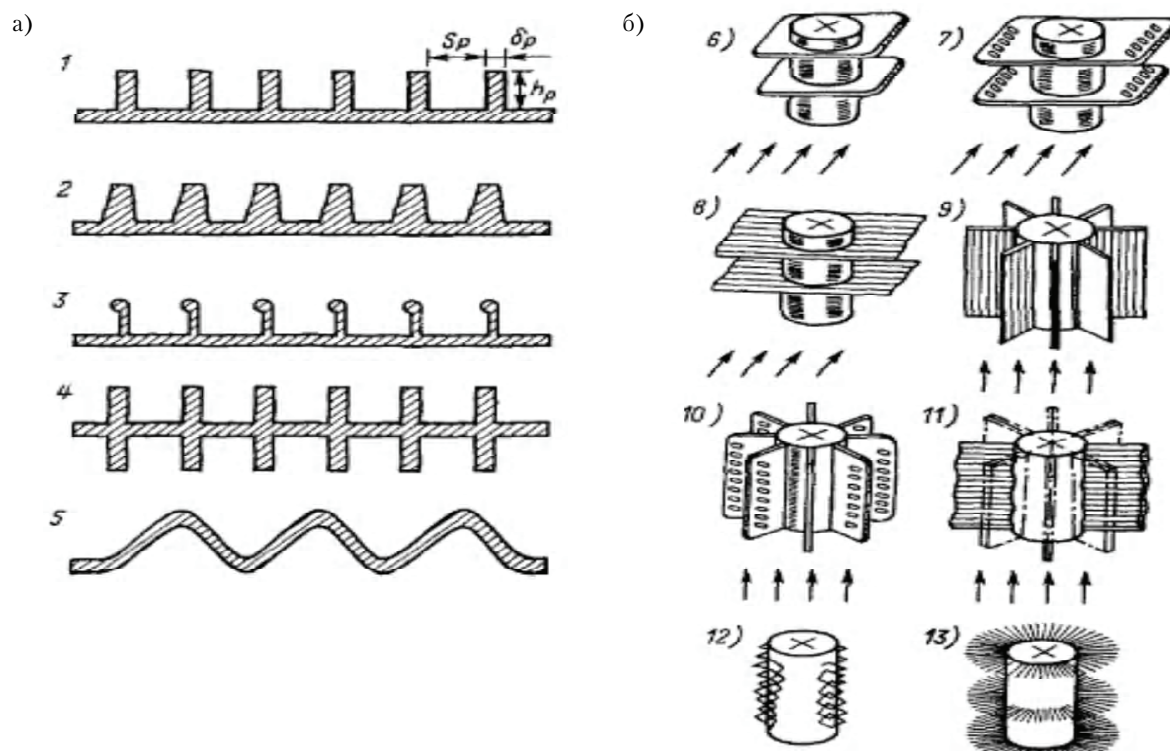


Рисунок 1 – Варианты развитых макроструктур поверхностей теплообмена: а) плоских стенок: 1, 2, 3 – одностороннее оребрение; 4 – двустороннее оребрение; 5 – гофрирование; б) наружных поверхностей труб, каналов и теплоотводящих стержней: 6, 7, 8 – поперечные ребра: 7 – перфорированные; 8 – гофрированные; 9, 10, 11 – продольные ребра: 10 – перфорированные; 11 – гофрированные; 12, 13 – с проволочными турбулизаторами: 12 – спиралевидными; 13 – веерообразными.

Микрогеометрию твердых поверхностей характеризуют профильной шероховатостью и ее стереометрическим изображением. Профильная шероховатость представляется в виде геометрического изображения структуры разреза перпендикулярной плоскости поверхности (рисунок 2). Реальная профильная шероховатость определяется механическими, оптическими, ультразвуковыми, рентгеновскими, электронографическими и магнитометрическими методами [5]. Большинство этих методов дают вполне сопоставимые результаты определения параметров микроструктуры.

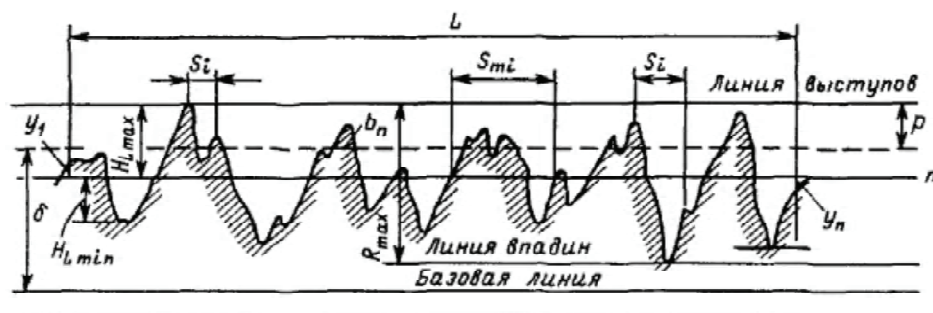


Рисунок 2 – Основные характеристики профильной микрошероховатости поверхности твердого тела.

Как было показано в [3], в этом случае основное термическое сопротивление процессу теплоотдачи между стенкой и потоком сосредоточено в узком пристеночном слое толщиной 3...5 % от радиуса

трубы. Поэтому для того, чтобы получить при той же скорости потока существенное увеличение коэффициента теплоотдачи при умеренном росте коэффициента гидравлического сопротивления, нужно дополнительно турбулизировать только этот пристеночный слой. Дополнительная турбулизация ядра потока не дает заметного увеличения теплоотдачи, но существенно скажется на росте гидравлического сопротивления.

Эффективным способом турбулизации пристеночного слоя является создание у стенки отрывных зон. Периодически расположенные выступы плавной конфигурации обеспечивают генерации турбулентных вихрей, распространяющихся вдоль стенки и слабо диффундирующих в ядро потока. Высота выступов должна быть соизмерима с высотой пристеночного слоя, в котором сосредоточена основная часть термического сопротивления между потоком и стенкой.

Как показал анализ экспериментов, при заданной форме и высоте турбулизаторов максимальный рост теплоотдачи и гидравлического сопротивления достигается при $t/h = 10$, причем максимум гидравлического сопротивления сильно зависит от формы турбулизаторов и связанных с ней трехмерных и нестационарных вихревых структур.

Получить плавно очерченные периодически расположенные кольцевые диафрагмы внутри труб можно накаткой кольцевых диафрагм на наружной поверхности труб (рисунок 3). Интенсификация теплообмена в таких трубах будет зависеть от относительной высоты диафрагмы (h/D) или отношения диаметра диафрагмы к диаметру трубы (d/D) и относительного шага размещения диафрагм (t/h или t/D). Помимо этих параметров на зависимости $Nu/Nu_{гл}$ и $\zeta/\zeta_{гл}$ влияет форма профиля, а при полукруглой форме профиля – радиус турбулизатора или безразмерный параметр R/D .

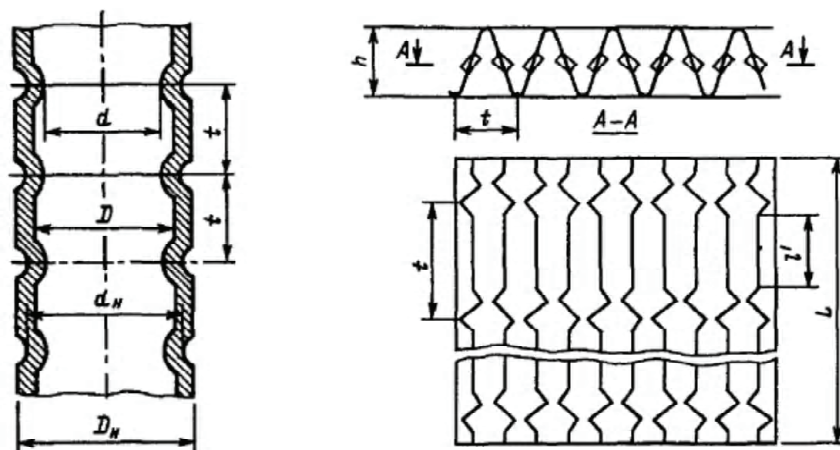


Рисунок 3 – Продольный разрез трубы с кольцевыми диафрагмами.

Технология изготовления ТА из накатанных трубок ничем не отличается от технологии сборки гладкотрубного ТА. Но суммарная длина трубок в теплообменнике с интенсификацией оказывается значительно меньше, чем в гладкотрубном. Поэтому интенсификация теплоотдачи рассмотренным методом позволила не только уменьшить в 1,5–2,0 раза габаритные размеры и массу ТА, но и существенно снизить его стоимость.

Деление методов интенсификации теплообмена пленочных аппаратов на активные и пассивные представляется, по существу, искусственным, поскольку все они без исключения требуют дополнительных затрат энергии на прокачку теплоносителя [6].

Применение поверхности с регулярной шероховатостью значительно (до 2 раз) повышает интенсивность процессов тепломассопереноса [2].

Основные методы интенсификации теплообмена [4] сводятся к увеличению поверхности теплообмена (с помощью оребрения различной конфигурации), гидродинамическому воздействию на поток (закручивание потока с помощью вставок различного типа, акустическое воздействие, создание шероховатости), механическому воздействию на поток (вибрация и вращение поверхности), электрическому и магнитному воздействию на поток.

Совершенствование конструкций насадок с пленочным режимом контактирования идет по пути турбулизации пленки стекающей жидкости. Особого внимания заслуживают те варианты конструкций регулярных насадок, где обеспечено постоянное перераспределение потоков контактирующих

фаз между конструктивными элементами насадок, выравнивание профиля скоростей газа и жидкости по сечению аппаратов [1–4].

Отметим, что увеличение конвективного теплового потока может быть достигнуто и без интенсификации теплообмена, при помощи простого развития увеличения поверхности контакта фаз. Однако простое развитие поверхности предполагает увеличение теплового потока посредством использования простых форм оребрения (например, трубные пучки с прямыми сплошными гладкими ребрами, ориентированными вдоль течения). Это типично экстенсивный метод увеличения теплового потока, который не имеет больших резервов для дальнейшего развития, так как уже сейчас достигнуты практически предельные значения коэффициента оребрения и КПД ребра.

Интенсификация теплообмена, наоборот, является интенсивным методом увеличения теплового потока, возможности которого далеко не исчерпаны, и может быть осуществлена посредством воздействия на микроструктуру или на микро- и макроструктуру потока.

Следует заметить, что методы интенсификации теплообмена чрезвычайно многообразны. Физический механизм процессов в некоторых случаях изучен пока недостаточно или даже вообще не ясен. Поэтому любая систематизация по признаку механизма процесса будет неизбежно носить несколько схематичный характер. Кроме того, нередко интенсификация достигается за счет нескольких органически связанных основных и сопутствующих эффектов, действие которых отделить друг от друга практически невозможно.

С учетом сказанного под воздействием на микроструктуру потока будем понимать турбулизацию пограничного слоя на межфазной поверхности газожидкостной среды и его разрушение на поверхности насадочных элементов, а под воздействием на микро- и макроструктуру потока – создание вторичных течений и изменение физических свойств жидкости. Турбулизация пограничного слоя на поверхности насадки может быть осуществлена посредством создания на поверхности искусственной шероховатости различного вида. В случае песочной шероховатости осуществляется возмущение пристенной области течения, а в случае дискретной шероховатости (например выступов) – течение с локальными отрывами.

Более перспективной является вторая форма воздействия. Разрушение пограничного слоя может быть достигнуто с помощью разрывов поверхности, механического удаления и вращения поверхности. Это требует дополнительной энергии и практически в градирнях трудноосуществимо.

Известно, что применение шероховатых поверхностей с рациональными геометрическими характеристиками позволяет весьма существенно интенсифицировать процессы тепло- и массообмена как в однофазном, так и в двухфазном потоке. При этом на степень интенсификации процесса большое влияние оказывают шаг и высота элементов шероховатости.

Исследованию гидродинамических закономерностей течения пленки жидкости по шероховатой поверхности в условиях гравитационного стекания посвящен ряд работ [3]. Однако влияние шага и высоты элементов шероховатости на толщину пленки жидкости исследовано недостаточно.

Было установлено, что толщина пленки жидкости существенно зависит от шага и высоты элементов шероховатости, причем зависимость от шага имеет экстремальный характер.

Авторами [3] выяснялся характер влияния шероховатости вертикальной орошаемой стенки длиной 591 мм на теплоотдачу к нагреваемой пленке воды. При этом исследовались три трубы с различными видами искусственной шероховатости наружной орошаемой поверхности, а также сильно корродированная и гладкая труба. При использовании шероховатых труб истинная поверхность теплообмена за счет неровностей увеличивается.

Значительное влияние на теплоотдачу от шероховатых труб оказывает вид искусственной шероховатости, который в общем определяет и закономерности изменения теплоотдачи с ростом плотности орошения. Так, для трубы с поперечной накаткой (прямая 1) с увеличением критерия Рейнольдса пленки Re теплоотдача резко возрастает. Это объясняется тем, что с увеличением плотности орошения турбулизирующее воздействие поперечных рисок шероховатости резко усиливается, и ламинарный подслой пленки уменьшается. При $Re > 7\,000$ теплоотдача от этой трубы при прочих равных условиях выше, чем для гладкой трубы с равной истинной поверхностью теплообмена и высотой трубы (рисунок 4).

Теплоотдача от трубы с шахматной накаткой (прямая 2) ниже, чем для трубы с поперечной накаткой, причем эта разница в теплоотдаче увеличивается с ростом плотности орошения. При появлении продольных рисок, совпадающих с общим направлением течения пленки, турбулизирующее влияние бугорков неровностей уменьшается, возрастает ламинарный подслой пленки, увеличивая термическое сопротивление теплоотдаче.

Результаты опытов по теплоотдаче от шероховатых и гладких труб к пленке воды при температуре пленки равной 61,5 °С в виде эмпирических уравнений для $\alpha_{ш}$ и α также сведены в таблицу.

Таблица – Изменение среднего коэффициента теплоотдачи с увеличением Re

Накатка трубы	Критерий Рейнольдса Re	Увеличение коэффициента теплоотдачи ее по сравнению с α на гладкой поверхности трубы, %
Поперечная	6 000	4
	9 000	49,5
	12 000	96
Шахматная	7 000	2
	9 000	17
	12 000	37
Продольная	4000	13,5
	14 000	21

На рисунке 4 видно, что теплоотдача к пленке от сильно корродированной трубы (прямая 5) и трубы с продольной накаткой (прямая 4) при прочих равных условиях всегда ниже, чем теплоотдача к пленке воды от гладкой поверхности трубы (прямая 3).

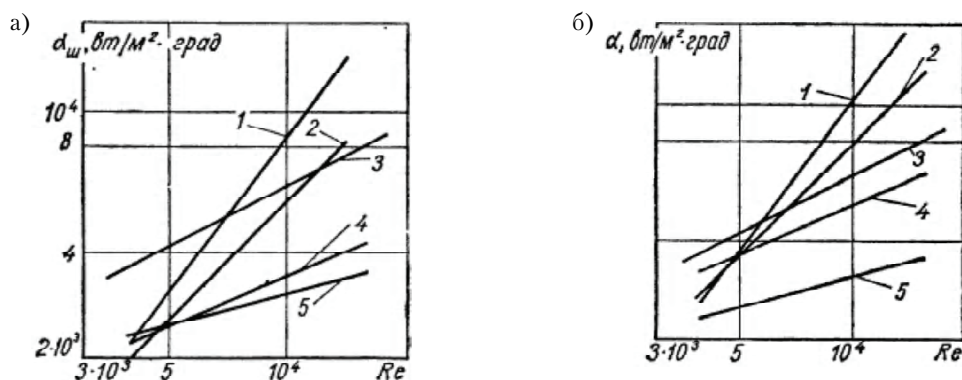


Рисунок 4 – Графики зависимости средних коэффициентов теплоотдачи $\alpha_{ш}$ (а) и α (б) от критерия Рейнольдса Re при $t_{пл} = 61,5$ °С при различном состоянии орошаемых водой поверхностей стенок труб: 1 – поперечная накатка; 2 – шахматная накатка; 3 – гладкая; 4 – продольная накатка; 5 – сильно корродированная.

Очевидно, что при теплоотдаче к стекающей пленке жидкости искусственную шероховатость орошаемой стенки трубы следует рассматривать скорее как турбулизирующий фактор, чем простое увеличение поверхности теплообмена. Интенсификация теплоотдачи наблюдается только при использовании шероховатости орошаемой поверхности, неровности которой располагаются поперек основного направления течения пленки. При этом степень интенсификации теплоотдачи увеличивается с ростом плотности орошения.

Влияние волн на теплоотдачу.

В результате того, что волны на наружной поверхности пленки развиваются уже при незначительных плотностях орошения, во всей области значений критерия Рейнольдса $Re > Re_{кр.в}$ перенос тепла в пленке молекулярной теплопроводностью сопровождается конвективным переносом за счет перемешивающего действия поверхностных волн. П. Л. Капица теоретически показал [3], что при волновом режиме течения теплоотдача на 21 % больше, чем при гладком ламинарном.

В своих работах Г. Глазер и В. Вильке отмечают, что воздействие волн меняет характер теплоотдачи от стенки к жидкостной пленке. Так, при стабилизированном ламинарном стекании пленки перенос тепла обусловлен только молекулярной теплопроводностью. Перемешивание пленки под действием волн приводит к возникновению дополнительного теплового потока волн в том же направлении [3].

Так как практически вся докритическая область течения орошающей пленки является волновой, то коэффициенты теплоотдачи должны быть выше, чем это следует из теории В. Нуссельта. Еще Г. М. Геббард и В. Л. Бэджер рекомендовали учитывать увеличение теплоотдачи за счет перемешивающего действия волн опытным коэффициентом $\pm 1,25 \dots \pm 0,05$ по сравнению с теплоотдачей при гладком ламинарном течении. Последние более точные измерения Г. Струве хорошо подтверждают теоретические выводы П. Л. Капицы и Г. Глазера [3].

Влияние входного участка на интенсивность теплообмена в пленке.

На входном участке, начинающемся у распределительного устройств кончающемся при появлении первых регулярных возмущений (установление профиля скоростей), жидкостная пленка ускоряется или замедляется с соответственным изменением ее толщины, в связи с чем интенсивность процессов тепло- и массообмена в этом месте также изменяется, что вызывает необходимость выделения входного участка. Особенно это касается тех случаев, когда длина входного участка соизмерима с длиной орошаемой поверхности. Естественно, что термический и концентрационный участок входа всегда несколько больше гладкого входного участка гидродинамической стабилизации, так как установление профиля скоростей предшествует образованию устойчивых профилей температур и концентраций в поперечном сечении пленки.

В связи с этим рассмотрение длины входного участка гидродинамической стабилизации при пленочном течении необходимо связывать с наиболее распространенными типами распределительных устройств.

При конструировании аппаратов с пленочным течением для улучшения равномерности распределения жидкости по рабочей поверхности необходимо уделять особое внимание подводу жидкости и комбинациям различных способов пленкообразования.

Так как равномерность распределения жидкости по сечению аппарата является одним из основных показателей, характеризующих эффективность пленочных аппаратов, создание устройств, обеспечивающих равномерное распределение жидкости по сечению аппарата является одной из важных задач конструирования аппаратов со стекающей пленкой.

Для обеспечения равномерного распределения пленки по внутренней поверхности нагревательных труб применяются внутренние устройства различных конструкций [7].

По способу распределения жидкости в пленку распределительные устройства классифицируются на переливные, щелевые, струйные, разбрызгивающие, капиллярные и тангенциальные, которые по способу стекания жидкости называют гравитационными.

Из существующих способов пленкообразования технических решений приходится на переливной способ, 25 % – на щелевой, 20 % – на тангенциальный и 8 % – на струйный [7]. В некоторых конструкциях используют комбинации перечисленных способов.

Общие рекомендации по выбору метода интенсификации теплообмена.

Можно произвести достаточно общую оценку эффективности интенсификации теплообмена [4]. При этом можно указать три критерия оценки эффективности интенсификации теплообмена:

1) сравнение поверхностей теплообмена или объема двух теплообменных аппаратов -одного с гладкими поверхностями и другого с приспособлениями для интенсификации теплообмена, при этом оба сравниваемых теплообменника должны иметь одинаковую тепловую мощность, расходы теплоносителя и потери давления на его прокачку;

2) сравнение тепловых мощностей теплообменников с интенсификацией теплообмена и без нее при одинаковых объемах, расходах теплоносителей и потерях давления на их прокачку, т. е. одинаковой мощности на прокачку;

3) сравнение мощностей или потерь давления на прокачку теплоносителей теплообменников с интенсификацией теплообмена и без нее при одинаковых объемах, тепловой мощности и расходах теплоносителей.

ВЫВОДЫ

Уменьшение массы и габаритов теплообменных аппаратов является актуальной проблемой. Наиболее перспективный путь решения этой проблемы интенсификация теплообмена.

Опыт создания и эксплуатации различных тепломассообменных устройств показал, что разработанные к настоящему времени методы интенсификации теплообмена обеспечивают снижение габаритов и металлоемкости (массы) этих устройств в раза и более по сравнению с аналогичными

серийно выпускаемыми устройствами при одинаковой тепловой мощности и мощности на прокачку теплоносителей.

Чтобы убедиться в эффективности того или иного метода интенсификации, необходимы не только большой комплекс исследований, но и опыт эксплуатации ТУ в реальных условиях. Именно этим объясняется тот факт, что от разработки метода интенсификации теплообмена до его широкого использования в ТУ обычно проходит значительное время. А с другой стороны, лишь немногие из разработанных и публикуемых методов интенсификации теплообмена могут удовлетворить описанным выше условиям и найти широкое применение, хотя в отдельных специфических случаях применение некоторых из них может оказаться целесообразным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптев, А. Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов: учебно-справочное пособие / А. Г. Лаптев, Н. А. Николаев, М. М. Башаров. – Москва : «Теплотехник», 2011. – 335 с. – ISBN 978-598457-104-3. – Текст : непосредственный.
2. Эффективные поверхности теплообмена / Э. К. Калинин, Г. А. Дрейцер, И. З. Копп, А. С. Мякочин. – Москва : Энерго-атомиздат, 1998. – 408 с. – ISBN 5-283-03593-X. – Текст : непосредственный.
3. Воронцов, Е. Г. Теплообмен в жидких пленках / Е. Г. Воронцов, Ю. М. Тананайко. – Киев : «Техника», 1972. – 196 с. – Текст : непосредственный.
4. Мартыненко, О. Г. Справочник по теплообменникам. Том 1 : [Перевод с английского под редакцией О. Г. Мартыненко]. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 560 с. – Текст : непосредственный.
5. Хусу, А. П. Шероховатость поверхности (теоретико-вероятностный подход) / А. П. Хусу, Ю. Р. Виттенберг, В. А. Пальмов. – Москва : «Наука», 1975. – 344 с. – Текст : непосредственный.
6. Кутателадзе, С. С. Гидродинамика газожидкостных систем / С. С. Кутателадзе, М. А. Стрыкович. – [2-е изд., переработ. и доп.]. – Москва : Энергии, 1976. – 296 с. – Текст : непосредственный.
7. Бородин, В. А. Распыливание жидкостей / В. А. Бородин, Ю. Ф. Дитякин, Л. А. Клячко, В. И. Ягодкин. – Москва : Машиностроение, 1967. – 264 с. – Текст : непосредственный.

Получена 08.10.2021

Д. В. САВИЧ, М. В. ДОЛГОВ ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ АПАРАТІВ ПЛІВКОВОГО ТИПУ ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Анотація. У статті проведено аналіз існуючих методів інтенсифікації теплообміну, конкретизовано основні умови вибору оптимального методу інтенсифікації, виконано аналіз шляхів удосконалення поверхонь теплообміну. Виділено та вивчено значні інтенсифікуючі фактори в апаратах плівкового типу, а саме – вплив хвилювання; зона вхідної ділянки, яка залежить від краплетвірної пристрою; мікроструктура поверхні труби, визначено найефективніший вид накатки на зовнішній поверхні труб. Наведено рекомендації щодо вибору методу інтенсифікації теплообміну. Короткий виклад сучасних уявлень про поверхні теплообміну показує, що пошуки шляхів оптимізації процесів та підвищення ефективності теплообміну вимагають комплексного системного розгляду як макро- та мікроструктури поверхні, так і умов взаємодії поверхні з теплоносієм у конкретних задачах. Необхідно відзначити, що при виборі для практичного застосування того чи іншого методу інтенсифікації теплообміну доводиться враховувати не тільки ефективність самої поверхні, а й технологічність її виготовлення, технологічність збирання теплообмінного апарата, вимоги міцності, забруднення поверхні, особливості експлуатації тощо.

Ключові слова: інтенсифікація, поверхня теплообміну, мікро- та макроструктура, плівкові апарати, хвилювання, штучна шорсткість, вхідна ділянка.

DARYA SAVICH, NYKOLAY DOLGOV INTENSIFICATION OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN FILM-TYPE DEVICES Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article analyzes the existing methods of heat transfer intensification, specifies the main conditions for choosing the optimal intensification method, analyzes the ways to improve the heat transfer surfaces. Significant intensifying factors in film-type apparatuses have been identified and studied, namely,

the effect of wave formation; the zone of the input section, which depends on the droplet-forming device; the microstructure of the pipe surface, the most effective type of rolling on the outer surface of the pipes has been determined. Recommendations are given on the choice of a method for intensifying heat transfer. A brief summary of modern concepts of heat transfer surfaces shows that the search for ways to optimize processes and increase the efficiency of heat transfer requires a comprehensive systemic consideration of both the macro- and microstructure of the surface, and the conditions of interaction of the surface with the coolant in specific problems. It should be noted that when choosing for practical application one or another method of intensifying heat transfer, it is necessary to take into account not only the efficiency of the surface itself, but also the manufacturability of its manufacture, the manufacturability of the assembly of the heat exchanger, strength requirements, surface contamination, operation features, etc.

Key words: intensification, heat exchange surface, micro- and macrostructure, film devices, wave formation, artificial roughness, inlet section.

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

Долгов Николай Викторович – кандидат технических наук; доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения.

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

Долгов Микола Вікторович – кандидат технічних наук; доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплопостачання.

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

Dolgov Nikolay – Ph. D. (Eng.); Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: saving of energy resources in systems of heat supplying.

УДК 504.062.2

В. В. ШАПОВАЛОВ, Д. А. КОЗЫРЬ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ
ОТВАЛОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ С ПОЛУЧЕНИЕМ
ГЛИНОЗЕМА И ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

Аннотация. В статье проведен анализ содержания сырья в породных отвалах Донбасса. Рассмотрены современные технологии получения ценных элементов из техногенных месторождений. В породах отвалов Донбасса содержатся ряд ценных редкоземельных металлов, содержание которых может превышать их кларки в земной коре. Общее содержание ценных элементов в отвале составляет до 260 г/т. Обоснованы параметры ресурсосберегающей технологии переработки породных отвалов с применением способа бесщелочного спекания отходов с известняком (смесь аргиллит – каолин – мел). При соблюдении концентрации содового раствора 100...120 кг/м³ Na₂CO₃, температуры процесса 70 °С на протяжении 10–30 мин и соотношения жидкой к твердой фазе 1,5–2,0, полученные алюминатные растворы будут иметь концентрацию 60...70 г/л и степень извлечения глинозема будет составлять 88,6...92,7 %.

Ключевые слова: породный отвал, глинозем, спекание отходов, ресурсосбережение, выщелачивание.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В связи с увеличением производства алюминия, уменьшением запасов сырья с высоким содержанием алюминия становятся актуальны исследования по разработке и применению новых технологий производства глинозема из техногенных месторождений с низким содержанием алюминия.

Актуальность данной работы заключается и в том, что в промышленно развитом Донецком регионе существует потребность в утилизации техногенных отходов. Они, с одной стороны, содержат глинозем, а с другой, оказывают негативное воздействие на окружающую среду. На данный момент на территории Донбасса находится около 600 породных отвалов. Комплекс соответствующих условий может привести к самонагреванию породного отвала, который затем может превратиться в экологически опасный пожар [1]. Горение породных отвалов приводит к выбросам сероводорода, диоксида серы и других парниковых газов в атмосферу. Водная эрозия приводит к смыву в природную среду до 400 м³/га в год породы, а ветровая – к выносу более 150 т/год породы с гектара его поверхности.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В мире основным сырьем для производства алюминия служат бокситы, содержащие от 32 до 60 % глинозема (Al₂O₃), а также низкосортное сырье – алуниты и нефелины. Способы производства глинозема из различных минералов, содержащих алюминий, основаны на получении алюминатных растворов и их свойстве самопроизвольно разлагаться при снижении температуры и концентрации на гидроксид алюминия и щелочь.

По мнению исследователей, состав пород отвалов Донбасса характеризуется содержанием основных химических компонентов в породе в процентах на сухое вещество: 56,43 % SiO₂, 8,20 % Fe₂O₃, 0,49 % CaO, 2,04 % MgO, 1,12 % SO₃, 26,01 % Al₂O₃, 0,91 % TiO₂, 0,26 % P₂O₅, 4,04 % K₂O и 0,98 % Na₂O, где преобладают оксиды кремния, железа и алюминия [2]. Анализ 100 проб отвальных пород из 29 породных отвалов г. Донецка показал, что наиболее часто встречающаяся концентрация Al₂O₃ составляет 20...25 % [3]. При исследовании содержания редкоземельных, редких и цветных микроэлементов в

породных отвалах шахты в г. Донецке были выявлены их повышенные концентрации по отношению к кларку – хлор (превышение в 2,27 раза), свинец (превышение в 2,85 раза), титан (превышение в 1,22 раза), ванадий (превышение в 1,36 раз), хром (превышение в 1,28 раз), галлий (превышение в 2,55 раза), германий (превышение в 4,5 раза), ниобий (превышение в 2,27 раза).

Согласно стандарту крупнейшего в России предприятия по производству глинозёма – Ачинского глинозёмного комбината, содержание Al_2O_3 в поступающей нефелиновой руде должно быть в пределах от 26 до 27 % масс. Таким образом, породные отвалы Донбасса также могут использоваться как сырьё для получения глинозема.

В настоящее время накоплен достаточный опыт использования технологий получения оксида алюминия и других ценных компонентов из техногенных месторождений. Исследователями из Луганской Народной Республики предложен кислотный способ выщелачивания алюминия из отвальной породы, который заключается в предварительном измельчении отвальной породы и обжиге при температурах 600 и 800 °C на протяжении 35–40 минут. Средний выход алюминия колеблется от 20 до 50 % [2]. Установлено, что использование бактерий *Th. Ferrooxidans* повышает эффективность биохимического кислотного выщелачивания алюминия и переводит алюминий из нерастворимого состояния в растворимое [2].

Исследования породных отвалов в Польше направлены на использование породы в качестве энергетического концентрата. Так, при обработке породы с применением отсадочного устройства получен энергетический концентрат высокого качества с зольностью менее 12% и высшей теплотворной способностью более 26 МДж/кг [4]. Результаты исследований химического состава породных отвалов Верхнесилезского угольного бассейна показали, что основными компонентами породных отвалов являются 45,22 % SiO_2 и 18,48 % Al_2O_3 [5]. Техничко-экономическое обоснование переработки одного породного отвала в Польше показало, что добыча угля экономически оправдана [6].

Летучая зола также является техногенным сырьем. Зола, образованная при горении лигнита, состоит из SiO_2 (15...45 %), Al_2O_3 (10...25 %), Fe_2O_3 (4...15 %) и других компонентов [7]. Исследователи при синтезе оксида алюминия из летучей золы получили высокочистые квасцы с использованием $NH_4Al(SO_4)_2$, из которых с помощью микроволнового излучения получали глинозем [8]. Из летучей золы, образованной при горении южноафриканского угля, смешанной с белой известью и NaOH, экстрагировали оксид алюминия при 260 °C в течение 60 минут. Эффективность экстракции оксида алюминия составляла около 89 % [9]. Исследователи извлекали Al_2O_3 из летучей золы смешанно-щелочным гидротермальным способом. В оптимальных условиях степень извлечения глинозема достигала 91,3 % [10].

В настоящее время в МакНИИ разработан перспективный способ переработки горной массы с получением редкоземельных элементов, основанный на электровзрывных технологиях [11].

Среди возможных схем получения глинозема перспективен способ спекания с известняком или мелом. Так, в случае использования бесщелочного сырья получают саморассыпающиеся спеки, которые в дальнейшем перерабатывают щелочными методами. Авторами отмечено, что спек после извлечения глинозема, может быть использован в качестве компонента при производстве цемента либо в качестве добавки до 20 % в готовый цемент без потери его прочностных свойств. Расчеты сырьевых шихт на основе белитового шлама показали возможность использования шихты на основе белитового шлама и мела для производства цементного клинкера [12].

Главной проблемой извлечения из породных отвалов глинозема является преобладающее содержание в них кремнезема, который по кислотно-основным свойствам близок к глинозему и препятствует его выделению из сырья. Разработка технологий извлечения алюминия и их составных частей из низкосортного сырья является важной задачей ресурсосбережения в Донбассе.

ЦЕЛЬ

Целью исследования является разработка технологии комплексной утилизации техногенных отходов, содержащих глинозем, включающей способ бесщелочного спекания отходов с известняком.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для анализа возможности использования породы отвалов угольных шахт в качестве сырья для получения глинозема и других полезных элементов были проведены экспериментальные исследования. В качестве объекта исследования была выбрана трехкомпонентная система аргиллит – каолин – мел. В качестве бесщелочного алюминийсодержащего сырья выбран каолин и аргиллит (породный

отвал шахты Речная). Кальцийсодержащий компонент шихты – мел представлял некондиционные отходы содового производства фракцией менее 30 мм [12].

Технологический процесс извлечения глинозема по способу спекания не щелочного сырья с известняком состоит из следующих стадий: дозирование шихты, мокрый помол, спекание сырья с известняком и охлаждение спека, выщелачивание, обескремнивание алюминатного раствора, карбонизация, промывание гидроксида алюминия, кальцинация и охлаждение глинозема.

Степень извлечения глинозема в экспериментальных исследованиях определяли по концентрации алюмината натрия $\text{NaAl}(\text{OH})_4$, который анализировали согласно ГОСТ 22552.3-77. При приготовлении шихты для спекания компоненты смеси измельчались. Влажность шихты составляла 30...40 %. Тонкость помола составляла до 0,08 мм. Содержание Fe_2O_3 в техногенном отходе составляло 1,8...2,8 масс %. Количество компонентов смеси подбиралось таким образом, чтобы обеспечить молярные соотношения основных компонентов $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2$, $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,8$; $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1$ [13].

При проведении экспериментальных исследований установлено, что важнейшим показателем для получения хорошего саморассыпающегося спека является выдержка шихты в печи при максимальной температуре на протяжении примерно 60 мин., а затем медленное охлаждение спека в печи на 100...150 °C на протяжении 0,5–1 ч.

Охлажденный алюмокальциевый спек, содержащий алюминаты кальция $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, подвергали выщелачиванию содовым раствором (81,6...120 г/л Na_2CO_3) при 70 °C в течение 30 минут.

Выщелачивание спеков содовым раствором приводит к разложению алюмокальциевых и феррокальциевых спеков с получением раствора алюминатов натрия:

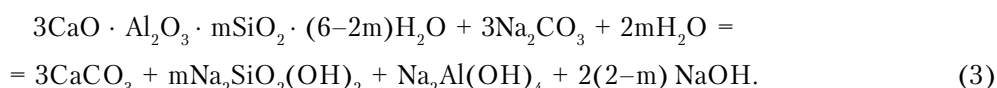


При проведении исследований установлено, что оптимальными условиями выщелачивания спека трехкомпонентной смеси являются:

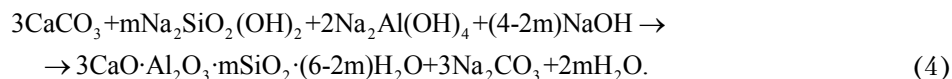
- а) концентрация содового раствора – 100...120 кг/м³ Na_2CO_3 ;
- б) температура процесса 70 °C на протяжении 10–30 мин.;
- в) соотношение жидкой к твердой фазе равняется 1,5–2,0.

При соблюдении выше перечисленных условий полученные алюминатные растворы будут иметь концентрацию 60...70 г/л и степень извлечения глинозема будет составлять 88,6...92,7 %.

После выщелачивания алюминатных спеков растворы пересыщены SiO_2 по отношению к гидроалюмосиликату натрия. Поэтому перед выделением из них $\text{Al}(\text{OH})_3$ они должны быть обескремнены. В случае получения металлургического глинозема обескремнивание целесообразно проводить в две стадии. Рекомендуется обработка шламасодовым раствором по реакции:



Во время содовой обработки гидроалюмосиликата происходит частичная каустификация содового раствора. Полученный после отделения шлама содощелочной раствор направляется на стадию выщелачивания. На второй стадии обескремнивания при введении в раствор CaCO_3 он будет реагировать с алюминатным раствором и растворимым в нем кремнием:



Карбонизация алюминатных растворов осуществляется барботированием через раствор смеси газов, которые содержат CO_2 , для выделения гидроксида алюминия в осадок. Технологическими предпосылками этого метода является наличие отходящих газов печей спекания, содержащих 12...14 % CO_2 , а также возможность многократного использования полученных содовых растворов во время выщелачивания. Процесс карбонизации алюминатных растворов натрия зависит от множества факторов – температуры, концентрации раствора, скорости пропускания CO_2 и его содержания в газовой фазе и т. д. [13].

Установлено, что главной причиной загрязнения гидроксида алюминия и получаемого из него глинозема при карбонизации алюминатных растворов является получение гидроалюмокарбоната

натрия (ГАКН) $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_2\text{CO}_3] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [13]. Экспериментально установлено, что ГАКН взаимодействует с алюминатными растворами по двум направлениям – образование $\text{Al}(\text{OH})_3$ и растворение с образованием гидросоединений алюминия с пониженной основностью типа $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$.

Данное соединение ($\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$) переводит гидроалюмокарбонат натрия в гидроксид алюминия. Установленный механизм реакций позволяет предложить способ выделения гидроксида алюминия из алюминатных растворов, заключающийся в том, что раствор после выщелачивания алюмокальциевых соединений технологически разделяют на две части, одну из которых подвергают карбонизации до полного осаждения соединений алюминия из раствора. Образующийся осадок обрабатывают второй частью алюминатного раствора для превращения гидроалюмокарбоната натрия в гидроксид алюминия [13].

При взаимодействии гидроалюмокарбоната натрия с раствором алюмината натрия, увеличивается содержание CO_2 , следовательно, увеличивается содержание Na_2CO_3 (рисунок 1, 2). При увеличении времени реакции до 300 минут степень превращения ГАКН в гидроксид алюминия повышается с 23,2 до 99,3 %. Таким образом, за 5 часов в раствор из твердой фазы переходит более 90 % диоксида углерода.

Превращение гидроалюмокарбоната натрия в гидроксид алюминия можно представить следующими реакциями:

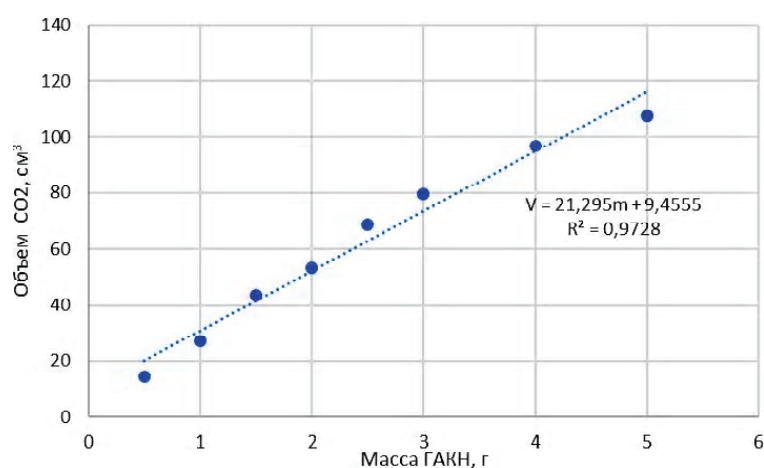


Рисунок 1 – Влияние массы ГАКН на содержание CO_2 в растворе ($T = 18^\circ\text{C}$. Состав алюминатного раствора: концентрация Al^{3+} 9,5 г/л, Na^+ 23,0 г/л).

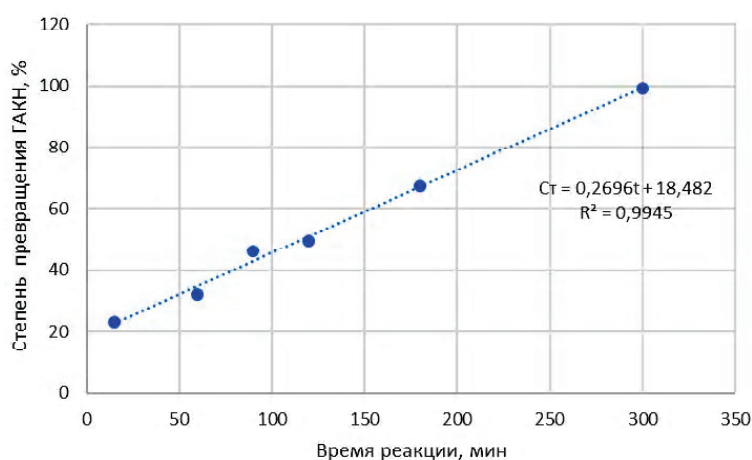
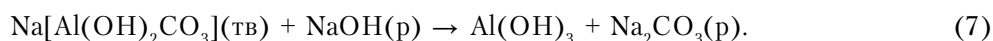
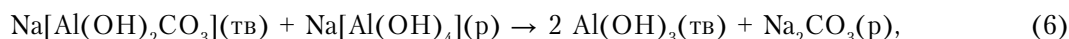
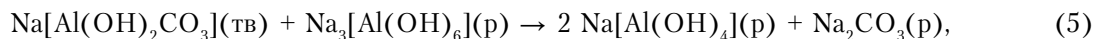


Рисунок 2 – Влияние времени взаимодействия ГАКН и раствора алюмината натрия на степень превращения гидроалюмокарбоната натрия ($T = 18^\circ\text{C}$, концентрация Al^{3+} в алюминатном растворе 19,0 г/л, Na^+ – 23,0 г/л).



Дальнейшая кальцинация $\text{Al}(\text{OH})_3$ проводилась при температуре 1 300 °С, в ходе которой получен глинозем, содержащий, как показывают результаты рентгеновского дифракционного анализа, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Сравнение ИК-спектров полученного Al_2O_3 со спектром чистого глинозема показывает их практически полную идентичность, за исключением полосы поглощения примеси кремнезема (SiO_2) при 1 100 см^{-1} . Химический анализ показал наличие в полученном глиноземе около 1,5 % SiO_2 .

Раствор, полученный после выщелачивания, был исследован атомно-абсорбционным методом анализа с применением спектрометра Thermo Scientific – SOLAARM Series AA Spectrometer. Были выявлены следующие концентрации компонентов породных отвалов с учетом разбавления 1:50 – ванадий (0,76 мг/л), хром (234 мг/л), молибден (7 мг/л).

ВЫВОДЫ

1. Использование способа бесщелочного спекания отходов с известняком (смесь аргиллит – каолин – мел) позволит извлекать до 92,7 % глинозема из породных отвалов Донбасса и использовать отходы спекания – белитовый шлам для производства цементного клинкера.

2. Обоснованы параметры ресурсосберегающей технологии получения глинозема из породных отвалов – бесщелочного спекания отходов с известняком, оптимальные условия спекания отходов и выщелачивания спека смеси аргиллит – каолин – мел.

3. Способ выделения гидроксида алюминия из алюминатных растворов, при котором часть раствора подвергают карбонизации до полного осаждения соединений алюминия из раствора, а образующийся осадок обрабатывают частью алюминатного раствора для превращения гидроалюмокарбоната натрия в гидроксид алюминия, позволяет преодолеть причину загрязнения получаемого глинозема – образование на первом этапе процесса гидроалюмокарбоната натрия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sinha, A. Spontaneous Coal Seam Fires: A Global Phenomenon / A. Sinha, V. K. Singh. – Текст : непосредственный // Spontaneous Coal Seam Fires: Mitigating a Global Disaster. UNESCO Office Beijing, 2005. – P. 42–66.
2. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса : монография / Л. Г. Зубова, А. Р. Зубов, К. И. Верех-Белоусова, Н. В. Олейник. – Луганськ : издательство ВНУ им. В. Даля, 2012. – 144 с. – Текст : непосредственный.
3. Выборов, С. Г. Перспективы отвальных пород в качестве алюминиевого сырья / С. Г. Выборов, А. А. Силин. – Текст : непосредственный // Уголь Украины. – 2012. – июнь. – С. 33–39.
4. Coal recovery from a coal waste dump / Zenon Róžański, Tomasz Suponik, Piotr Matusiak [et al.]. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences 8. – 2016. – DOI: 10.1051/e3sconf/20160801052 (дата обращения: 01.10.2021).
5. Róžański, Z. Management of mining waste and the areas of its storage – Environmental aspects. Gospodarka Surowcami Mineralnymi / Z. Róžański. – Текст : электронный // Mineral Resources Management. – 2019. – Volume 35, Issue 3. – P. 119–142. – DOI: 10.24425/gsm.2019.128525 (дата обращения: 01.10.2021).
6. Gawor, Ł. Coal mining waste dumps as secondary deposits exemplified on Upper Silesian coal basin and Lublin coal basin / Ł. Gawor. – Текст : электронный // Geology, Geophysics and Environment. – 2014. – Vol. 40(3). – P. 285–289. – DOI: 10.7494/geol.2014.40.3.285128525 (дата обращения: 01.10.2021).
7. Yadav, V. K. The current scenario of thermal power plants and fly ash: Production and utilization with a focus in India / V. K. Yadav, M. H. Fulekar. – Текст : электронный // Int. J. Adv. Eng. Res. Dev. – 2018. – N 5. – 768–777. – URL: https://www.researchgate.net/publication/329942803_The_current_scenario_of_thermal_power_plants_and_fly_ash_production_and_utilization_with_a_focus_in_India (дата обращения: 01.10.2021).
8. Park, H. C. Synthesis of alumina from high purity alum derived from coal fly ash / H. C. Park, Y. J. Park, R. Stevens. – Текст : электронный // Mater. Sci. Eng. A. – 2004. – N 367. – P. 166–170. – DOI:10.1016/j.msea.2003.09.093 (дата обращения: 01.10.2021).
9. Matjie, R. H. Extraction of alumina from coal fly ash generated from a selected low rank bituminous South African coal / R. H. Matjie, J. R. Bunt, J. H. P. van Heerden. – Текст : электронный // Minerals Engineering. – 2005. – N 18. – P. 299–310. – <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.06.013> (дата обращения: 01.10.2021).
10. Extraction of alumina from coal fly ash by mixed-alkalinehydrothermal method / Li, Huiquan & Hui, Jun-bo & Wang, Chenye & Bao, Weijun & Sun, Zhenhua. – Текст : электронный // Hydrometallurgy. – 2014. – 147. – P. 183–187. – DOI:10.1016/j.hydromet.2014.05.012 (дата обращения: 01.10.2021).

11. К вопросу извлечения редкоземельных металлов из породных отвалов угольных шахт / А. Г. Мнухин, Н. А. Мнухина, А. А. Гитуляр, И. П. Горошко. – Текст : электронный // Уголь Украины. – 2017. – июль-август. – С. 64–66. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2017_7-8_14 (дата обращения: 01.10.2021).
12. О возможности получения глинозема из отходов угле- и горнодобывающей промышленности методом спекания бесщелочного сырья с известняком / А. А. Клименко, В. Н. Вечерко, Л. И. Кукоба [и др.]. – Текст : электронный // Научные труды ДонНТУ. – 2012. – № 19 (199). – С. 151–157 (серия: химия и химическая технология). – URL: <http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/14559/1/Klimen.pdf> (дата обращения: 01.10.2021).
13. К вопросу о механизме выделения гидроксида алюминия из растворов алюмината натрия и его реализации в технологическом процессе / В. В. Шаповалов, С. В. Горбатко, Т. В. Шаповалова, Д. А. Козырь. – Текст : электронный // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2020. – № 3(21). – С. 61–68. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44435111> (дата обращения: 01.10.2021).

Получена 06.10.2021

В. В. ШАПОВАЛОВ, Д. О. КОЗИР
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ
ВІДВАЛІВ ВУГЛЕДОБУВНИХ ВИРОБНИЦТВ З ОТРИМАННЯМ
ГЛИНОЗЕМУ І В'ЯЖУЧИХ МАТЕРІАЛІВ
ДОНУ ВПО «Донецький національний технічний університет»

Анотація. У статті проведено аналіз вмісту сировини в породних відвалах Донбасу. Розглянуті сучасні технології отримання цінних елементів з техногенних родовищ. У породах відвалів Донбасу містяться цінні рідкоземельні метали, вміст яких може попередньо перевищувати їх кларки в земній поверхні. Загальний вміст цінних елементів у відвалі може складати до 260 г/т. Обґрунтовані параметри ресурсозберігаючої технології переробки породних відвалів з застосуванням способів без лужного спікання відходів з вапном (суміш аргіліт – каолін – крейда). При дотриманні концентрації содового розчину 100...120 кг/м³ Na₂CO₃, температури процесу 70 °С протягом 10–30 хв та співвідношенні рідкої та твердої фази 1,5–2,0 отримані алюмінієві розчини будуть мати концентрацію 60...70 г/л і ступінь вилучення глинозему буде складати 88,6...92,7 %.

Ключові слова: породний відвал, глинозем, спікання відходів, ресурсозбереження, вилуджування.

VALERIY SHAPOVALOV, DMITRY KOZYR
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF COMPLEX UTILIZATION OF DUMPS
OF COAL-MINING PRODUCTIONS WITH RECEPTION OF ALUMINA AND
BINDERS
Donetsk National Technical University

Abstract. The article analyzes the content of raw materials in waste dumps of Donbass. Modern technologies for obtaining valuable elements from man-made deposits are considered. The rocks of the Donbass dumps contain a number of valuable rare earth metals, the content of which may exceed their clark in the earth's crust. The total content of valuable elements in the dump can be 230...260 g/t. The parameters of resource-saving technology of waste heaps processing with the use of the method of alkaline sintering of waste with limestone (mixture of argillite – kaolin – chalk) are substantiated. If the concentration of soda solution 100...120 kg/m³ Na₂CO₃, process temperature 70 °C for 10–30 min and the ratio of liquid to solid phase 1.5–2, the resulting aluminate solutions will have a concentration of 60–70 g/l and the degree of extraction alumina will be 88.6...92.7 %.

Key words: waste heap, alumina, waste sintering, resource saving, leaching.

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор; заведующий кафедрой прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: использование твердофазных экзотермических реакций для получения сложных соединений и газообразных веществ. Комплексная утилизация отходов.

Козырь Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры природоохранной деятельности ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: ресурсосбережение, экологическое проектирование, экологический мониторинг.

Шаповалов Валерій Васильович – доктор хімічних наук, професор; завідувач кафедри прикладної екології та охорони навколишнього середовища ДОНУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: викори-

стання твердофазних екзотермічних реакцій для отримання складних сполук і газоподібних речовин. Комплексна утилізація відходів.

Козир Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри природоохоронної діяльності ДОНУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: ресурсозбереження, екологічне проектування, екологічний моніторинг.

Shapovalov Valeriy – D. Sc. (Chemistry), Professor; Head of Applied Ecology and Environmental Protection Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: the use of solid-phase exothermic reactions to obtain complex compounds and gaseous substances. Integrated waste disposal.

Kozyr Dmitry – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Environmental Activity Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: resource conservation, ecological engineering, environmental monitoring.

УДК 504.3.054:69.03:69.05

А. А. ШЕЙХ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ КАК ИСТОЧНИКА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ПЕРИОД РЕЦИКЛИНГА ОТХОДОВ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЕГО СНИЖЕНИЮ

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 с отходами на строительной площадке и показана привносимая дополнительная нагрузка на атмосферный воздух в результате реализуемой деятельности. Обоснована целесообразность использования отходов строительства и демонтажа зданий непосредственно на месте их образования с целью получения экологического эффекта, поскольку вторичная переработка строительных отходов позволит решить проблему материального снабжения объекта строительства дешевым сырьем, а также ресурсосбережения природных ресурсов. Определены значения концентраций пыли на стройплощадке при проведении работ по дроблению отходов строительства, которые позволили определить усредненное значение пыли, привносимое при переработке отходов в границах строительной площадки. Предложена схема системы пылеподавления для снижения выбросов пыли в процессе переработки строительных отходов на стройплощадке.

Ключевые слова: отходы строительства, рециклинг, строительная площадка, дробильные установки, загрязнение атмосферного воздуха, вторичное сырье, мероприятия.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

На сегодняшний день отходы строительства и сноса зданий на территории ДНР подлежат складированию или захоронению на полигонах, что отрицательно сказывается на экологическом состоянии территорий региона и приводит к неоправданным потерям сырьевых ресурсов, поскольку отходы строительства по своему составу и свойствам близкие к природному сырью и могут повторно использоваться в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР), т. е. являются альтернативным вариантом пополнения и сохранения природных ресурсов. Стоит отметить, что переработка техногенных отходов в сырье для «искусственных» строительных материалов дешевле, чем переработка природных материалов. Поэтому с целью экологической безопасности и экономической целесообразности наиболее оптимальным способом является рециклинг отходов непосредственно на строительной площадке с последующим вовлечением полученных ВМР в процесс возведения новых зданий. Однако следует учесть, что переработка «на месте», если объект расположен в черте города, может быть затруднена по экологическим требованиям, поскольку при дроблении отходов наблюдается дополнительное привнесение в атмосферный воздух пылевых частиц различной крупности и шумовое загрязнение территории, отведенной под строительство.

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 трех 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 [2] 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.

ЦЕЛЬ

Исследование пылевого загрязнения атмосферного воздуха при проведении рециклинга отходов строительства и сноса зданий непосредственно на месте их образования, на строительной площадке, с последующей разработкой мероприятий по снижению данного негативного воздействия.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На сегодняшний день переработка строительных отходов для ДНР является малоизученным новым направлением, поскольку наблюдается отсутствие организаций, занимающихся непосредственно рециклингом отходов строительства и сноса зданий. Так как система правового регулирования ориентирована только лишь на управление обращением с отходами демонтажа и сноса зданий как одним из видов загрязнения окружающей среды, что исключает их переработку. Наиболее оптимальным способом с учетом экологической безопасности является переработка отходов непосредственно на месте их образования. В результате на строительной площадке образуется замкнутый цикл, который начинается стадией демонтажа здания и заканчивается стадией переработки отходов с получением вторичных материалов и последующим вовлечением их в строительное производство. Главным достоинством данного способа является отсутствие стадии транспортировки отходов крупнотоннажными самосвалами за пределы территории объекта.

Анализ литературных источников [2, 4, 5] показал, что для переработки строительных отходов на строительной площадке используется, как правило, технологическое оборудование по демонтажу, измельчению и фракционированию. На рисунке 1 представлены основные этапы переработки отходов и показана привносимая дополнительная нагрузка на атмосферный воздух в результате реализуемой деятельности [6].

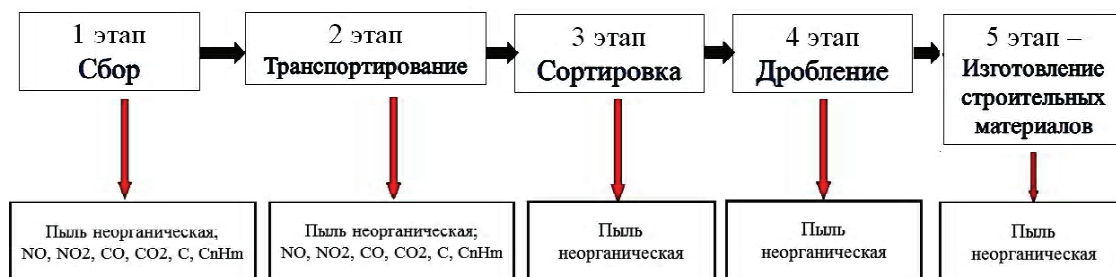


Рисунок 1 – Этапы обращения со строительными отходами на строительной площадке.

Образующиеся в строительном производстве отходы проходят следующие этапы: сбор и вывоз, сортировку и переработку. Сбор отходов осуществляется на строительной площадке часто без сортировки, навалом, с последующим вывозом [4]. Для более экологически эффективного обращения с отходами и возможности повторного использования следует заменить порядок этапов на такие: сбор, сортировку, переработку с последующим изготовлением строительных материалов и вывоз. Сбор и сортировку отходов необходимо проводить по месту их образования, то есть на строительной площадке. Сортировка отходов строительства предназначена для выделения необходимой фракции, готовой для приготовления изделия или материала, не нуждающегося в измельчении. Для получения необходимой фракции наибольшее распространение получил механический метод, реализованный в виде обращения со строительными отходами – грохочение. Следующим этапом является далее переработка отходов. На этой стадии происходит дробление с использованием чаще всего дробилок (щековых), реже мельницы. Чаще всего повторное использование строительных отходов предполагает использование их как заполнителей (аналог щебня), поэтому возможность переработки зависит от возможности их дробления. Заключаящим этапом является вывоз для утилизации совершенно непригодного материала и его захоронение. Исходя из перечисленных этапов можно сделать вывод,

что наиболее приемлемо перерабатывать отходы на месте их образования, поскольку нет необходимости транспортирования отходов к месту их переработки, либо транспортируется их небольшая часть (непригодный материал), и на месте получаем качественное вторичное сырье, которое можно использовать повторно в строительстве [7].

Анализ полученных данных показал, что основной вклад в пылевое загрязнение атмосферного воздуха приносят именно дробильные установки (четвертый этап), в процессе эксплуатации которых происходит измельчение отходов до необходимой фракции. Все перечисленное выше определило выбор направления исследований – исследование строительной площадки при переработке отходов строительства как источника пылевого загрязнения окружающей природной среды. С позиций экологической безопасности нужно четко понимать, на какой 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 с учетом полученного усредненного значения дополнительно приносимой концентрации пыли.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение дополнительного вклада пыли при проведении на строительной площадке работ по дроблению, измельчению отходов. Экспериментальные замеры значений пылевого загрязнения осуществлялись с использованием стандартных методик [7, 8] и следующих приборов: анемометра для измерения скорости ветра; флюгера для определения направления движения ветра; дальномера для измерения расстояния от места дробления до визуально фиксированного расстояния оседания частиц пыли; электроаспиратор для измерения запыленности атмосферного воздуха участка дробления отходов; весов электронных, которые использовались для измерения массы фильтров. В таблице 1 представлены полученные результаты распространения пылевого загрязнения атмосферного воздуха в районе проведения работ по дроблению строительных отходов.

Таблица 1 – Результаты проведенных исследований пылевого загрязнения

Расстояние максимального удаления частиц пыли, м	Время удаления, с		
	25	100	175
	$v = 0...1 \text{ м/с}$		
	10	18	24
	$v = 4...6 \text{ м/с}$		
	22	40	58
	$v = 9...10 \text{ м/с}$		
	40	70	98

На основании данных, представленных в таблице 1, были построены зависимости изменения расстояния максимального удаления частиц пыли от таких показателей, как скорость ветра и время удаления (рисунок 1).

На основании полученных зависимостей можно сделать вывод, что значения плотности оседания частиц пыли с увеличением фактора «расстояние» имеет тенденцию к уменьшению, а также стоит отметить, что значения плотности прямо пропорционально уменьшаются с увеличением фактора «скорость». Также в работе приведены результаты определения концентрации пыли, образующейся при дроблении отходов. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Полученные результаты позволяют определить усредненное значение концентрации пыли, приносимое при переработке отходов в границах строительной площадки – $C_{\text{уср}} = 15,58 \text{ мг/м}^3$, что позволит наиболее точно подойти к выбору периода переработки отходов с наименьшими «негативными последствиями» для окружающей среды, в частности для атмосферного воздуха. Поскольку внедрение рециклинга на предложенном «условном» периоде нового строительства повлечет за собой увеличение валовых значений пылегазового загрязнения атмосферного воздуха. В работе на рисунке 2 представлено полученное пофракционное распределение массы пылевых частиц, выделяющихся в атмосферный воздух в процессе дробления отходов строительства и демонтажа зданий.

Для снижения пылевых выбросов, образующихся в процессе измельчения, дробления отходов строительства и сноса зданий в дробильных установках, предложена схема так называемой «системы пылеподавления» (рисунок 3), которая включает в себя следующие основные компоненты: вихревой

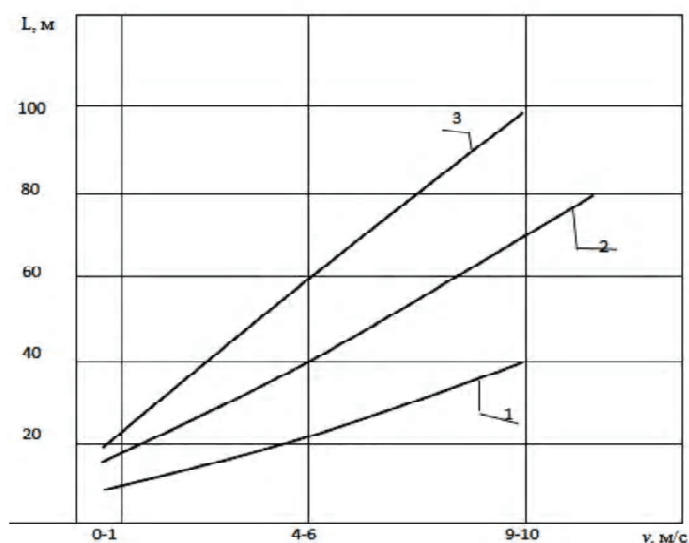


Рисунок 1 – Зависимость изменения расстояния максимального удаления частиц пыли от таких показателей как скорость ветра и время удаления: 1 – 25 с; 2 – 100 с; 3 – 175 с.

Таблица 2 – Результаты определения концентрации пыли на стройплощадке при проведении работ по дроблению отходов строительства

№ пробы	Масса фильтра, мг		Концентрация пыли, мг/м ³
	до проведения замеров	после проведения замеров	
1	3 518	3 548	15,18
3	3 524	3 551	14,91
7	3 610	3 646	15,20
8	3 554	3 565	15,37
10	3 535	3 567	15,98
13	3 615	3 646	15,38
15	3 548	3 573	15,76
17	3 551	3 579	16,05
20	3 538	3 565	15,92
24	3 612	3 638	16,02

инерционный пылеуловитель с отсосом из бункера, который позволяет повысить показатель эффективности аппарата и снизить аэродинамическое сопротивление; циклон марки ЦН-15-400.

Предложенная установка пылеподавления позволит не только снизить пылевые выбросы, образующиеся в процессе переработки строительных отходов непосредственно на месте их образования, но и обосновать в соответствии с требованиями экологической безопасности целесообразность рециклинга отходов строительства и сноса зданий на строительной площадке с последующим вовлечением полученного ВМР в строительный процесс.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения исследования были определены значения концентрации пыли на стройплощадке при проведении работ по дроблению отходов строительства, которые позволили определить усредненное значение концентрации пыли, привносимое при переработке отходов в границах строительной площадки, а также предложена схема системы пылеподавления для снижения выбросов пыли в процессе переработки строительных отходов на стройплощадке.

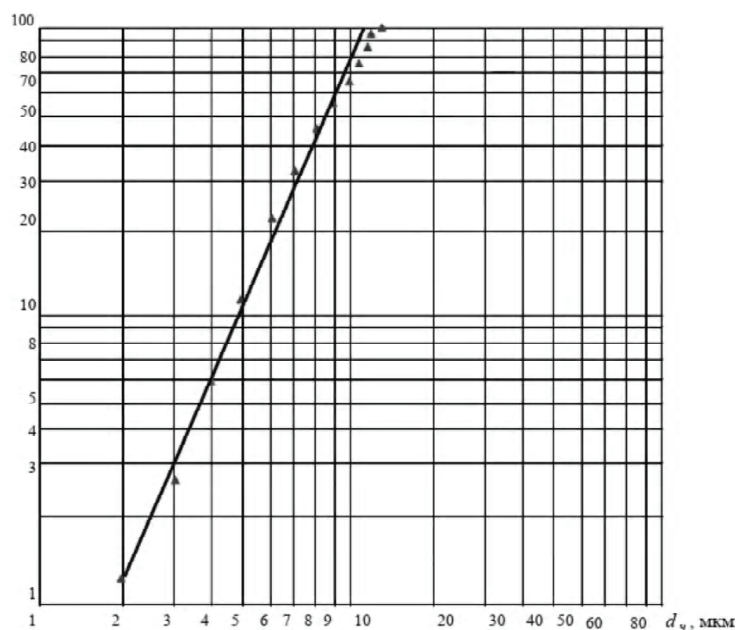


Рисунок 2 – Пофракционное распределение массы частиц пыли.

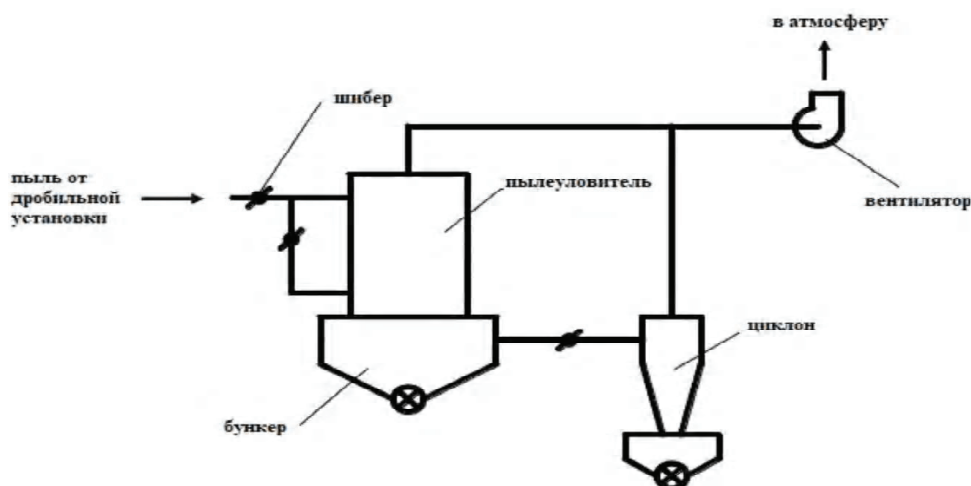


Рисунок 3 – Схема «системы пылеподавления».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики : официальный сайт. – Текст : электронный. – Донецк. – [2017]. – URL: <http://gkecopoldnr.ru> (дата обращения: 01.10.2021).
2. Башева, Т. С. Анализ уровня воздействия строительного производства в границах строительных площадок / Т. С. Башева, А. А. Шейх. – Текст : электронный // Вестник Донбасской академии строительства и архитектуры. – 2019. – Выпуск 2019-5(139) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 67–70. – URL: [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) (дата публикации: 18.11.2019).
3. Башева, Т. С. Определение величины эмиссии загрязняющих веществ и установление опасного расстояния для строящихся объектов с различными конструктивными особенностями / Т. С. Башева, А. А. Шейх. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2020. – № 2(11). – С. 20–26.
4. Кравцова, М. В. Анализ методов утилизации отходов строительства с последующим вовлечением их во вторичный оборот / М. В. Кравцова, А. В. Васильев, А. В. Кравцов. – Текст : непосредственный // Известия СНЦ РАН. – 2015. – № 4. – С. 804–809.
5. Европейская практика обращения с отходами: Проблемы, решения, перспективы. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2005. – 77 с. – Текст : непосредственный.

6. Шевченко, Т. Ю. Рециклинг строительных отходов / Т. Ю. Шевченко, М. Ю. Барна, О. Ю. Назаренко. – Текст : непосредственный // Вестник ПГАСА. – 2011. – № 9 (162). – С. 8–11.
7. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух : введено в действие письмом Ростехнадзора от 24 декабря 2004 г. N 14-01-333. – Санкт Петербург : НИИ Атмосфера, 2004. – 31 с. – Текст : непосредственный.
8. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов : разработан ЗАО «НИПИОТСТРОМ». – Новороссийск : [б. и.], 2002. – 28 с. – Текст : непосредственный.

Получена 05.10.2021

О. О. ШЕЙХ

АНАЛІЗ БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА ЯК ДЖЕРЕЛА ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ПЕРІОД РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ І РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЙОГО ЗНИЖЕННЯ ДОУ ВПО «Донбасська 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 відходами на будівельному майданчику і показано привносне додаткове навантаження на атмосферне повітря в результаті реалізованої діяльності. Обґрунтовано доцільність використання відходів будівництва та демонтажу будівель безпосередньо на місці їх утворення з метою отримання екологічного ефекту, оскільки вторинна переробка будівельних відходів дозволить вирішити проблему матеріального постачання об'єкта будівництва дешевою сировиною, а також ресурсозбереження природних ресурсів. Визначено значення концентрацій пилу на будмайданчику при проведенні робіт з дроблення відходів будівництва, які дозволили визначити усереднене значення пилу, що привноситься при переробці відходів в межах будівельного майданчика. Запропонована схема системи пилоподавлення для зниження викидів пилу в процесі переробки будівельних відходів на будмайданчику.

Ключові слова: відходи будівництва, рециклінг, будівельний майданчик, дробильні установки, забруднення атмосферного повітря, вторинна сировина, заходи.

ALEXANDRA SHEIKH

ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION SITE AS A SOURCE OF DUST POLLUTION OF ATMOSPHERIC AIR DURING WASTE RECYCLING AND DEVELOPMENT OF MEASURES TO REDUCE IT Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. It is established in the work that the use of construction waste should be most effectively carried out at the site of dismantling works, implementing the process through technology that includes their sorting, grinding, preparation, preparation and use. The scheme of waste management at the construction site is proposed. The expediency of using construction waste and dismantling buildings directly at the place of their formation is justified from the point of view of obtaining an environmental effect, since the recycling of construction waste will solve the problem of material supply of the construction object with cheap raw materials, as well as resource conservation of natural resources. The values of dust concentrations on the construction site during the crushing of construction waste were determined, which made it possible to determine the average dust value introduced during waste processing within the boundaries of the construction site. A scheme of a dust suppression system is proposed to reduce dust emissions during the processing of construction waste at the construction site.

Key words: construction waste, recycling, construction site, crushing plants, atmospheric air pollution, secondary raw materials, activities.

Шейх Александра Александровна – ассистент кафедры 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 техносферної безпеки ДОНУ 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 541.136.136.88:504.062.2

А. И. СЕРДЮК, Т. С. БАШЕВАЯ, О. О. ШАМПАТЕЙ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ПЕРЕРАБОТКА ШЛАМА ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Аннотация. Изучен процесс электрохимического растворения свинцового шлама в борфтористоводородном электролите, а именно, проведена предварительная подготовка объектов исследования – активация активной свинцовой массы, а также определены скорости растворения аккумуляторных пластин (анод), скорости растворения свинцового шлама (анод), скорости выделения свинца на катоде, плотности катодного тока и выхода по току. Показано, что проведение процесса перевода соединений свинца (диоксида и сульфата свинца) в растворимую в кислотах форму при pH 9–10 приводит к снижению концентрации свинца в промывочных водах по сравнению с нейтральной средой в десятки раз. При использовании шлама в электролитической корзине в качестве анода, как более распространенной формы свинцовых отходов, скорость растворения возрастает на 17...20 % по сравнению с аккумуляторной пластиной, что позволяет значительно ускорить процесс электрохимической переработки СКА в виде шлама.

Ключевые слова: свинцовый шлам, отработанные автомобильные аккумуляторы, борфтористоводородный электролит, свинец.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Объемы образования и накопления свинцово-кислотных аккумуляторов (СКА) увеличиваются с ростом мирового автомобильного парка. Распространенные в мире пирометаллургические методы утилизации СКА ввиду колоссального негативного воздействия на окружающую среду должны быть заменены более экологически чистыми способами. Возросший интерес к электрохимическим способам утилизации СКА объясняется их более высокой экологической чистотой и низкими энергозатратами.

В процессе эксплуатации СКА часть содержимого аккумуляторных пластин опадает в виде свинцового шлама (лома) на дно. То же самое происходит и при электрохимическом растворении пластин СКА за счет их неравномерного растворения. В связи с этим целью данной работы является изучение растворения аккумуляторного шлама электрохимическим методом.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Состав аккумуляторного лома варьирует в широких интервалах значений. По мнению авторов [1], содержание свинца в эбонитовых моноблоках составляет 50...60 %, в термопластовых – 55...63 %, в полиэтиленовых (полипропиленовых) – 62...67 %. В результате анализа данных исследований содержание свинца в виде металла составляет 25...30 %, сульфатной фракции ($PbSO_4$) – 30...35 %, оксидной (PbO_2 , PbO) – 30...35 %, и 25...40 % органических материалов, в которых концентрируются Cu и S . 70 % массы шлама составляет свинец.

Электрохимическим путем перерабатываются компоненты СКА, содержащие свинец в виде металла, но не перерабатываются труднорастворимые в большинстве водных растворов электролитов диоксид свинца (PbO_2) и сульфат свинца ($PbSO_4$).

Основной проблемой подготовки или активации активной массы является перевод в растворимую форму диоксида свинца. Существует несколько способов переработки диоксида свинца, описанных в работах [2, 3].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование процесса переработки утильных свинцово-кислотных аккумуляторов в виде шлама с предварительной обработкой шлама с целью увеличения его степени растворения и уменьшения концентрации свинца в промывочных водах.

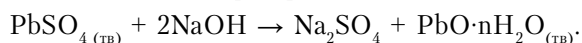
ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Существующие технологии переработки утильных СКА можно разделить на технологии, в которых осуществляется переработка неразрушенных электродов, и технологии, которыми предусмотрено предварительное измельчение активной массы электродных пластин. Процесс переработки с неразрушенными отработанными электродами СКА осложнен тем, что по окончании срока службы аккумулятора электроды, содержащие диоксид свинца, осыпаются в карманах, теряя форму пластин, что ограничивает применение метода утилизации, основанного на использовании неразрушенных пластин.

Для перевода диоксида свинца в растворимую в кислотах форму (оксид свинца) применяли восстановитель – перекись водорода в кислой среде – аккумуляторном электролите. Процесс проводили в течение 1 часа. Концентрацию диоксида свинца определяли иодометрическим методом. Концентрацию перекиси водорода рассчитывали по уравнению реакции с диоксидом свинца с 15%-ым избытком. Концентрацию свинца в промывочных растворах определяли фотометрически с использованием сульфарсазена в качестве индикатора. Значение pH раствора измеряли на иономере pH-121. Размеры шлама составляли 2...5 мм. Шлам растворяли в электрохимической корзине с толщиной слоя 20 мм.

Методики определения скорости растворения пластин (анод), скорости растворения шлама (анод), скорости выделения свинца на катоде, плотности катодного тока и выхода по току описаны в работах [2, 3].

Затем аккумуляторный электролит с остатком перекиси водорода сливали со шлама. Шлам сушили на воздухе 2 часа и затем подвергали десульфатации. Перевод сульфата свинца, составляющего активную массу отрицательного электрода аккумулятора в соединение, растворимое в электролитах на основе борфтористоводородной и кремнефтористоводородной кислот возможен в результате следующей реакции в 0,1 М растворе NaOH [2, 3]:



После обработки шлама раствором NaOH до щелочной реакции среды его промывают дистиллированной водой и сушат на воздухе в течение 2 часов. Затем подвергают электрохимической переработке.

Представляет интерес изучение загрязненности промывочных вод соединениями свинца. Известно, что соединения свинца обладают амфотерными свойствами и процесс осаждения гидроксида свинца зависит от pH водного раствора. В работе [4] сообщается, что полное осаждение $\text{PbO} \cdot n\text{H}_2\text{O} (\text{тв})$ наблюдается при pH равном 9,0, в работе [5] – при pH 10,0–10,2.

Авторами в качестве контроля pH использовано титрование пробы кислотного электролита с наличием шлама 0,1 Н раствором NaOH и Na_2CO_3 (0,40 и 0,56 %) в присутствии индикатора фенолфталеина с переходом окраски в интервале pH, равном 8,2–10,0. Появление малиновой окраски индикатора в этом случае соответствует pH равном 9,0–10,0. Рассчитав полученное соотношение количества электролита со шламом и 0,1М раствора NaOH или Na_2CO_3 , проводим десульфатацию всего шлама. Затем сливаем отработанный раствор со шлама и сушим шлам на воздухе в течение 2 часов. В результате такого проведения процесса десульфатации имеем концентрацию свинца в промывочных водах на два порядка более низкую, чем в нейтральной среде (таблица 1). После этого шлам подвергают электрохимической переработке в электролитической корзине. Таким путем также обрабатывали неразрушенные пластины СКА.

Таблица 1 – Осаждение свинца из водного раствора в зависимости от pH среды и концентрация свинца (С_{Pb}) в промывочной воде

Процесс осаждения	Начало осаждения (0,01 М)	Практически полное осаждение
pH	7,0	9,0
С _{Pb} , мг/дм ³ (осадитель NaOH)	130	1,4
С _{Pb} , мг/дм ³ (осадитель Na ₂ CO ₃)	97	0,082

Было изучено электрохимическое и химическое растворение соединений свинца на аноде в процессе электролиза. В исследовании использовали как неразрешенные пластины СКА, так и шлам в электролитической корзине глубиной 20 мм.

Для этого брали три одинаковые пластины. После высушивания до постоянной массы пластины были взвешены. Первую пластину поместили в электролит с температурой в 20 °С и подачей тока в 0,2А, вторую – в электролит с температурой в 40 °С и подачей тока в 0,2А и третью – без подачи тока и с температурой в 40 °С. Состав электролита HBF_4 – 180 г/л, $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ – 30 г/л, HVO_3 – 30 г/л, сульфидно-спиртовая борда 1 г/л. По прохождении трёх часов пластины высушили до постоянной массы и взвесили. Определено, что химическое растворение протекает со скоростью равной 0,068 кг/(м²·час). Сравнили скорость химического растворения с электрохимическим при том же составе электролита, данные сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Скорости химического и электрохимического растворения пластин СКА

Сила тока, А	Температура, °С	Скорость растворения, кг/(м ² ·час)
0,2	20	0,37
0,2	40	0,50
0	40	0,068

Суммарное растворение составило в первом случае 0,37 кг/(м²·час) и во втором 0,5 кг/(м²·час), следовательно, химическое растворение по отношению к электрохимическому составляет 18,4 % (40 °С) и 13,6 % (20 °С) для первой и соответственно второй пластины.

Было определено, что с увеличением скорости растворения анода вклад химического растворения будет уменьшаться при одинаковой температуре. При скорости растворения 2 кг/(м²·час) вклад химического растворения составит 3,5 %.

Также авторы сравнили скорости растворения анода (пластины) и выделения свинца на катоде при различных условиях таблица 3.

Таблица 3 – Скорости электрохимического растворения свинцового шлама и выделения свинца

Скорость растворения пластин, кг/(м ² ·час)	Скорость растворения шлама (анод), кг/(м ² ·час)	Скорость выделения свинца на катоде, кг/(м ² ·час)	Температура, °С	Плотность катодного тока, А/м ²	Выход по току, %
0,37	0,69	0,51	20	150	73
0,42	0,71	0,53	20	170	74
6,3	11,3	5,0	40	800	75
3,0	5,2	2,9	40	320	98
1,2	2,0	1,1	40	300	97
0,54	0,86	0,45	40	106	89

Скорость растворения пластины при 40 °С превышает скорости выделения при различных условиях на разную величину и в среднем составляет 7,8 %. Определено, что при температуре электролита 20 °С скорость растворения ниже скорости выделения, следовательно, содержание свинца в растворе будет снижаться. При температуре в 40 °С скорость растворения выше скорости выделения и содержание свинца в электролите будет увеличиваться.

При применении шлама в электролитической корзине в качестве анода скорость растворения возрастает на 17...20 % по сравнению с пластиной. Это, по-видимому, объясняется большей площадью контакта шлама с электролитом по сравнению с пластиной.

ВЫВОДЫ

Проведение процесса перевода соединений свинца (диоксида и сульфата свинца) в растворимую в кислотах форму при pH 9–10 приводит к снижению концентрации свинца в промывочных водах по сравнению с нейтральной средой в десятки раз. Этот позволяет значительно ускорить процесс электрохимической переработки СКА как в виде пластин, так и в виде шлама. Скорость переработки

свинцового шлама, как более распространенной формы свинцовых отходов, на 17...20 % выше, чем свинцовых пластин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрусталева, Д. А. Аккумуляторы / Д. А. Хрусталева. – Москва : Изумруд, 2013. – 224 с. – Текст : непосредственный.
2. Морачевский, А. Г. Актуальные проблемы утилизации лома свинцовых аккумуляторов / А. Г. Морачевский. – Текст : непосредственный // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76, № 9. – С. 1467–1476.
3. Рипная, М. М. Влияние концентрации соли свинца в борфтористоводородном электролите на его эксплуатационные и экологические параметры при электрохимической переработке утильных автомобильных аккумуляторов / М. М. Рипная, А. И. Сердюк. – Текст : непосредственный // Научно-технический журнал «Строительство и техногенная безопасность» ; Симферополь : ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского». – 2020. – № 18(70). – С. 157–164.
4. Перегончая, О. В. Практикум по аналитической химии. Физико-химические методы анализа : учебное пособие / О. В. Перегончая, С. А. Соколова. – Воронеж : Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2017. – 100 с. – ISBN 2227-8397. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/72731.html> (дата обращения: 26.03.2021). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
5. Штриплинг, Л. О. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов : учебное пособие / Л. О. Штриплинг, Ф. П. Туренко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 192 с. – Текст : электронный. – URL: ekolog.org/books/23/2_6_3.htm (дата обращения: 26.03.2021)

Получена 06.10.2021

О. І. СЕРДЮК, Т. С. БАШЕВА, О. О. ШАМПАТЕЙ ПЕРЕРОБКА ШЛАМУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ СПОСОБОМ ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Вивчено процес електрохімічного розчинення свинцевого шламу в борфтористоводневому електроліті, а саме, проведена попередня підготовка об'єктів дослідження – активація активної свинцевої маси, а також визначені швидкості розчинення акумуляторних пластин (анод), швидкості розчинення свинцевого шламу (анод), швидкості виділення свинцю на катоді, щільності катодного струму і виходу по струму. Показано, що проведення процесу переведення сполук свинцю (діоксиду і сульфату свинцю) в розчинну в кислотах форму при pH 9–10 призводить до зниження концентрації свинцю в промивних водах в порівнянні з нейтральним середовищем в десятки разів. При використанні шламу в електролітичному кошику в якості анода, як більш поширеної форми свинцевих відходів, швидкість розчинення зростає на 17...20 % в порівнянні з акумуляторною пластиною, що дозволяє значно прискорити процес електрохімічної переробки СКА у вигляді шламу.

Ключові слова: свинцевий шлам, відпрацьовані автомобільні акумулятори, борфтористоводневий електроліт, свинець

ALEXANDER SERDYUK, TATIANA BASHEVA, OLEG SHAMPATEY PROCESSING OF SLUDGE FROM SPENT LEAD-ACID BATTERIES BY ELECTROCHEMICAL METHOD Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The process of electrochemical dissolution of lead sludge in hydrogen borofluoride electrolyte was studied, namely, preliminary preparation of the objects of study – activation of active lead mass was carried out, and the dissolution rates of battery plates (anode), the dissolution rate of lead sludge (anode), the rate of lead release at the cathode, cathode current density and current output were determined. It is shown that the process of converting lead compounds (lead dioxide and lead sulfate) into an acid-soluble form at pH 9–10 leads to a decrease in the concentration of lead in the washing waters in comparison with the neutral medium by tens of times. When using sludge in an electrolytic basket as an anode, as a more common form of lead waste, the dissolution rate increases by 17...20 % compared to the battery plate, which significantly speeds up the process of electrochemical processing of SKA in the form of sludge.

Key words: lead sludge, used car batteries, hydrogen borofluoride electrolyte, lead.

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.

Башева Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент; заведующая кафедрой техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка физико-химических основ переработки утильных свинцово-кислотных аккумуляторов.

Шампате́й Олег Олегович – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: инженерная защита окружающей среды.

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

Башева Татяна Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент; завідувач кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка фізико-хімічних основ переробки відпрацьованих автомобільних акумуляторів.

Шампате́й Олег Олегович – студент ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: інженерний захист навколишнього середовища.

Serdyuk Alexander – D. Sc. (Chemical), Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of physical and chemical bases of industrial waste processing.

Basheva Tatiana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of physical and chemical foundations for the processing of used lead-acid batteries.

Shampatey Oleg – a student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: environmental engineering.

УДК 628.144

А. Я. НАЙМАНОВ, Г. С. ТУРЧИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ОБЗОР СОСТОЯНИЯ СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНА Г. МАКЕЕВКИ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

Аннотация. В статье представлены результаты исследования состояния систем подачи и распределения воды города Макеевки. Были проанализированы отказы сети г. Макеевки на основании исследования статистики ремонтно-восстановительных работ Центрально-Городского района. В рамках статьи проведен анализ отказов по следующим параметрам: тип аварий, причины их появления, места их происхождения, диаметр и материал трубопроводов, на которых обнаружены поломки. Показатели ремонтно-восстановительных работ брались за период 2017–2020 гг. На основании исследования представлены фактические количественные данные по каждому из вышеназванных параметров, что позволяет сделать выводы о распределении отказов в системах подачи и распределения воды города Макеевки. Полученные численные значения по авариям на сети водоснабжения могут быть применены для определения интенсивности отказов трубопроводов при оценке надежности систем подачи и распределения воды.

Ключевые слова: водопроводная сеть, ремонтно-восстановительные работы, диаметры трубопроводов, статистический анализ.

Чтобы лучше понимать, какие характеристики сети водоснабжения оказывают наибольшее влияние на итоговую оценку надежности систем подачи и распределения воды, необходимо провести анализ ремонтно-восстановительных работ в течение определенного времени. Одним из способов проанализировать изменения надежности в системе водоснабжения может служить исследование аварий на сети: количество и тип отказов, причины их появления, места их происхождения, на каком диаметре трубопровода. Безусловно, отследить абсолютно все отказы невозможно, потому как ряд поломок, как и утечек воды, остаются незарегистрированными, и часто о них неизвестно эксплуатирующей организации. Однако, можно провести анализ реально выполненных работ по восстановлению системы от аварий по вышеназванным характеристикам.

Взаимосвязи надежности систем водоснабжения с отказом ее элементов посвящены работы ряда ученых, в частности, В. С. Макогонова, Ю. А. Ильина, В. С. Ромейко, Х. Х. Фама и др. [1, 2, 3, 4, 5]. Расчет таких показателей надежности, как интенсивности отказов и восстановления, основывался на проведенном статистическом анализе реальных данных по отказам и восстановлениям систем водоснабжения из разных материалов.

Авторами проведено исследование восстановительных работ сетей Центрально-Городского района города Макеевки. За период с 2017 по 2020 года в этом районе было проведено 4 920 ремонтно-восстановительных работ, анализ проходил по нескольким параметрам. Во-первых, исходя из места аварии: в колодце или непосредственно на сети. Во-вторых, рассматривалась причина аварии, например, износ оборудования, коррозия или перелом труб. Также учитывалось, где произошла поломка: непосредственно на трубе, в местах стыка, на определенном виде запорно-водоразборной арматуры или оборудовании. Следующий этап исследования – определение, на каком из диаметров и из какого материала были зафиксированы отказы системы водоснабжения заданного района. Отметим, что общая протяженность водопроводной сети города составляет 1 562 км, длина сети в пределах Центрально-Городского района насчитывает 257 км. Данные для исследования брались из журналов учета проведения ремонтно-восстановительных работ сетей водоснабжения в городском водоканале.

Согласно исследованию, в среднем количество ремонтов, проводимых в колодцах, составляет около 46,1 % от общего количества восстановительных работ в системе подачи и распределения воды (рисунок 1).

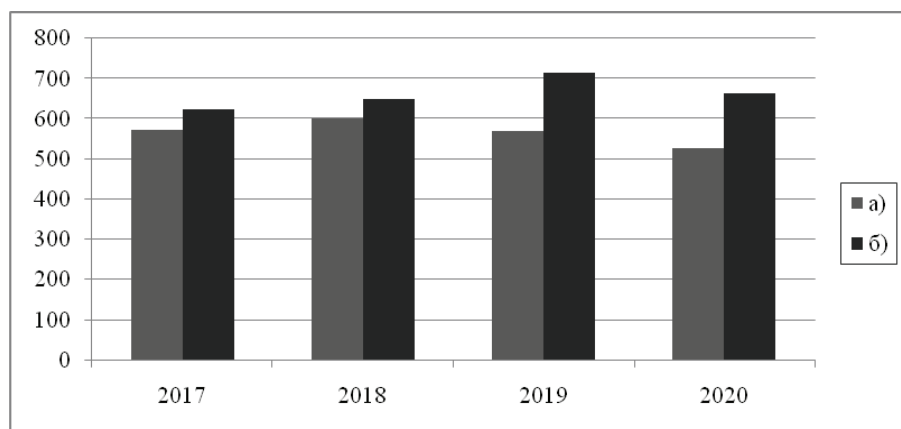


Рисунок 1 – Количество ремонтных работ по годам, проводимых: а) в колодцах; б) на сети.

Вместе с тем отказов вследствие коррозии было зафиксировано 671 в 2017 году, 685 в 2018, 618 в 2019 и 449 в 2020, что составляет в среднем 49 % от общего количества. Износ элементов сети (например, частей задвижки, пожарных гидрантов, вантузов, нарушение сварочного шва на стыке труб и т. д.) встречается 490 раз в 2017 году, 550 в 2018, 647 в 2019 и 732 раза в 2020. В среднем ремонтные работы вследствие износа элементов также составляет около 49 %. На оставшиеся 2 % приходятся восстановительные работы, проводимые по иным причинам, например, из-за перелома труб, поиска скрытых утечек, отключения или подключения отдельных зданий и пр.

Локализация аварий по местам, где производились ремонтные работы, представлена в таблице 1. Согласно анализу, за период 2017–2020 гг. в районе были зафиксированы следующие значения: 54,4 % от общего количества мест аварии – поломка непосредственно на трубопроводах; 16,4 % – на стыках труб, 17,3 % – замена и ремонт задвижек, 9,3 % – ремонт и установка пожарных гидрантов, 2,6 % – суммарный процент, приходящийся на прочие виды ремонтных работ.

Таблица 1 – Распределение мест аварий на сети

Места обнаружения	2017	2018	2019	2020
Трубопровод	701	731	699	544
Стыки труб	162	173	198	271
Задвижки	214	220	219	199
Пожарные гидранты	102	97	132	129
Прочее	17	30	35	47
Всего	1 196	1 251	1 283	1 190

Если рассматривать только первые две строчки из таблицы, – ремонтные работы, проводимые на трубопроводах – то среди них можно выделить три материала трубопроводов: сталь, чугун и пластик. Отображение доли каждого из вышеназванных материалов, встречаемых при отказах труб, показана на круговой диаграмме (рисунок 2).

Большая часть отказов приходится на трубы из стали, однако и изначально подавляющая часть трубопроводов в сети – стальная. Что же касается распределения ремонтно-строительных работ по диаметрам, то здесь прослеживается некоторая закономерность (таблица 2).

Более наглядно распределение по диаметрам во время ремонтных работ на трубопроводах можно рассмотреть на графике (рисунок 3).

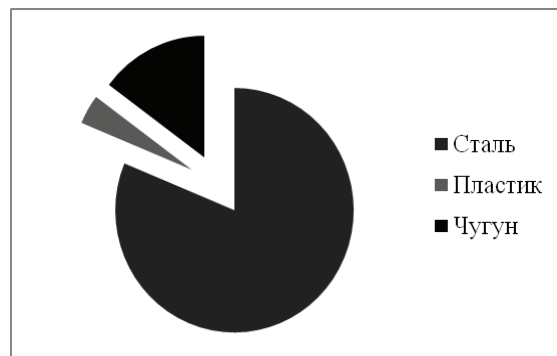


Рисунок 2 – Распределение отказов трубопроводов по материалу.

Таблица 2 – Распределение отказов по диаметрам труб в Центральном-Городском районе за 2017–2020 гг.

Диаметр, мм	Материал трубопровода		
	Сталь	Чугун	Пластик
До 50	415	36	44
63–100	1 113	84	187
110–150	663	19	192
200	260	0	62
250	8	0	0
300	264	0	27
400	93	0	5
500	9	0	0
600	29	0	9
700	19	0	0
800	1	0	0
900	2	0	0
1 000	9	0	0

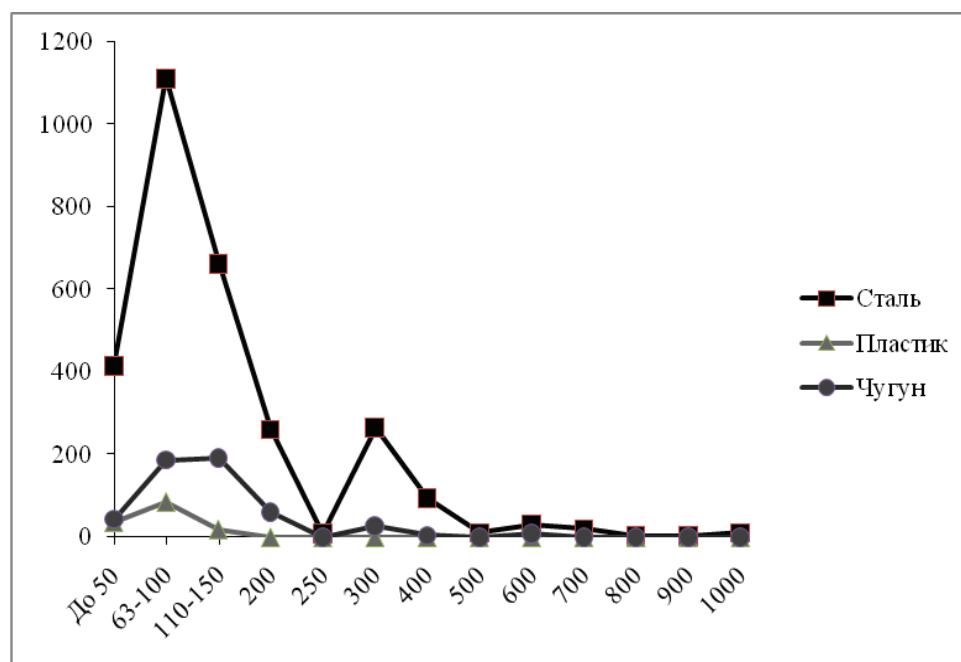


Рисунок 3 – Распределение ремонтно-восстановительных работ по диаметрам трубопровода.

Наибольшее количество поломок наблюдается на сотом и ближайших к нему диаметрах. Чем дальше от сотого диаметра в меньшую или большую сторону, тем меньшее количество ремонтно-восстановительных работ встречается. Помимо этого, обнаружено, что с каждым годом постепенно увеличивается количество труб из пластика, однако и аварии на трубопроводах из этого материала также случаются.

Также стоит отметить положительную динамику в реновации сети водоснабжения, так в 2017 году общая длина замененных/проложенных труб в Центрально-Городском районе составила около 498 м, в 2018 – 569 м, в 2019 – 834 м, а в 2020 – 1 745 м.

Благодаря разветвленности исследования, по данному району было обработано свыше 24 тысяч показателей, это позволяет сделать определенные выводы, касающиеся распределения отказов на сети г. Макеевки. Вполне естественно, что наибольшее количество отказов наблюдается на трубах из стали – большая часть городской сети состоит из стальных трубопроводов. Кроме того, чем меньше диаметр трубопроводов – тем больше частота отказов. Согласно исследованию, отказы труб составляли около 54 % от общего объема всех отказов, при этом в половине случаев причина – коррозия объекта. Вполне вероятно, что у труб большего диаметра толщина стенки будет больше, чем у трубопроводов меньшего диаметра, и это помогло сохранить такие участки сети в лучшем состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин, Ю. А. Расчет надежности подачи воды : научное издание / Ю. А. Ильин. – Москва : Стройиздат, 1987. – 320 с. : ил. – (Надежность и качество). – Текст : непосредственный.
2. Защита трубопроводов от коррозии / В. С. Ромейко, В. Г. Баталов, В. Е. Бухин [и др.] ; под редакцией В. С. Ромейко. – Москва : ООО «Издательство ВНИИМП», 2002. – 218 с. – Текст : непосредственный.
3. Макогонов, В. С. Исследование надежности водопроводных сетей : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Макогонов Владимир Семенович ; Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева. – Москва, 1972. – 146 с. : ил. – Текст : непосредственный.
4. Фам Ха Хай. Совершенствование обеспечения потребителей водой с учетом надежности водопроводных систем подачи и распределения воды в условиях Вьетнама : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ха Хай Фам ; ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ». – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. – 125 с. : ил. – Текст : непосредственный.
5. Aklog, D. Reliability-based optimal design of water distribution networks / D. Aklog, Y. Hosoi. – Текст : непосредственный // Water Science and Technology: Water Supply. – London : IWA Publishing, 2003. – С. 11–18.

Получена 08.10.2021

А. Я. НАЙМАНОВ, Г. С. ТУРЧИНА ОГЛЯД СТАНУ МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ М. МАКІЇВКИ НА БАЗІ АНАЛІЗУ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті представлені результати дослідження стану систем подачі та розподілу води міста Макіївки. Були проаналізовані відмови мережі м. Макіївки на базі дослідження статистики ремонтно-відновлювальних робіт Центрально-Міського району. У рамках статті проведено аналіз відмов за наступними параметрами: тип аварій, причина їх появи, місця їх походження, діаметр та матеріал трубопроводів, на яких були виявлені поломки. Показники ремонтно-відновлювальних робіт бралися за період 2017–2020 рр. На базі дослідження представлені фактичні кількісні дані за кожним з вищезазначених параметрів, що дозволяє зробити висновки про розповсюдження відмов у системах подачі та розподілу води міста Макіївки. Отримані численні значення щодо аварій на мережі водоспоживання можуть бути застосовані для знаходження інтенсивності відмов при оцінюванні надійності систем подачі та розподілу води.

Ключові слова: водопровідна мережа, ремонтно-відновлювальні роботи, діаметри трубопроводів, статистичний аналіз.

AUBEKIR NAIMANOV, GALINA TURCHINA
OVERVIEW OF THE STATE OF THE WATER SUPPLY NETWORK OF THE
MAKEYEVKA DISTRICT BASED ON THE ANALYSIS OF REPAIR AND
RESTORATION WORKS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article presents the results of a study of the state of water supply and distribution systems in the city of Makeyevka. The failures of the Makeyevka network were analyzed on the basis of a study of the statistics of repair and restoration works of the Central City district. Within the framework of the article, failures were analyzed according to the following parameters: the type of accidents, the causes of their occurrence, the places of their origin, the diameter and material of pipelines on which breakdowns were found. Parameters of repair and restoration work were taken over the period of 2017–2020. Based on the research, actual quantitative data for each of the above parameters are presented, which allows us to draw conclusions about the distribution of failures in the water supply distribution systems of the city of Makeyevka. The obtained numerical values of accidents on the water supply network can be used to determine the failure rate of pipeline when assessing the reliability of water supply systems.

Key words: water supply network, repair and renewal operations, diameters of pipelines, statistical analysis.

Найманов Аубекир Ягопирович – доктор технических наук, профессор кафедры городского строительства и хозяйства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоснабжение, очистка воды, методы повышения надежности сетей водоснабжения и канализации.

Турчина Галина Сергеевна – магистр; ассистент кафедры городского строительства и хозяйства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность сетей, методы повышения надежности сетей водоснабжения.

Найманов Аубекі́р Ягопи́рович – доктор технічних наук, професор кафедри міського будівництва та господарства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопостачання, очищення води, методи підвищення надійності мереж водопостачання та каналізації.

Турчина Галина Сергіївна – магістр; асистент кафедри міського будівництва та господарства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність систем, методи підвищення надійності мереж водопостачання.

Naimanov Aubekir – D. Sc. (Eng.), Professor, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: water supply, water purification, methods of increasing reliability of water supply and sewer nets.

Turchina Galina – master's student; Assistant, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability of systems, methods of increasing reliability of water supply nets.

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАВОРОТНЫЙ Д. В., УВАРОВА А. М. Теоретическое определение допустимой интенсивности циркуляции в цилиндрических эрлифтных биореакторах-осветлителях	5
КАЛИНИХИН О. Н. Совершенствование системы очистки хозяйственно-бытовых стоков объекта тепловой генерации	11
ГРЫЖЕНКУ В. Ю., РАДИОНЕНКО В. Н. Возможности цифровизации сектора картона и бумаги в Донецкой Народной Республике	17
РАДИОНЕНКО В. Н., ГРЫЖЕНКУ В. Ю. Источники ртути на территории Донецкой Народной Республики в результате антропогенного воздействия	21
ПОЛОХИНА И. И. Законодательные аспекты проблемы обращения с палой листвой в градостроительстве г. Донецка	26
ПАВЛЮЧЕНКО А. С., ГРИГОРЕНКО Н. И., ПОЛИЩУК П. В. Современный подход к вопросу обвязки технологических узлов насосных станций пожаротушения	35
ГОЛОВАТЕНКО Е. Л., МАРКИН В. А. Экологические аспекты водообеспечения оборотных циклов вакуум-насосных станций угольных шахт	40
САВИЧ Д. В., ДОЛГОВ Н. В. Интенсификация процессов теплообмена аппаратов пленочного типа	45
ШАПОВАЛОВ В. В., КОЗЫРЬ Д. А. Ресурсосберегающая технология комплексной утилизации отвалов угледобывающих производств с получением глинозема и вяжущих материалов	54
ШЕЙХ А. А. Анализ строительной площадки как источника пылевого загрязнения атмосферного воздуха в период рециклинга отходов и разработка мероприятий по его снижению	61
СЕРДЮК А. И., БАШЕВАЯ Т. С., ШАМПАТЕЙ О. О. Переработка шлама отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов электрохимическим способом	68
НАЙМАНОВ А. Я., ТУРЧИНА Г. С. Обзор состояния сети водоснабжения района г. Макеевки на основе анализа ремонтно-восстановительных работ	73

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

ЗАВОРОТНИЙ Д. В., УВАРОВА О. М. Теоретичне визначення допустимої інтенсивності циркуляції в циліндричних ерліфтних біореакторах-освітлювачах	5
КАЛІНІХІН О. М. Удосконалення системи очистки господарсько-побутових стоків об'єкта теплової генерації	11
ГРИЖЕНКУ В. Ю., РАДІОНЕНКО В. М. Можливості цифровізації картонно-паперового сектора в Донецькій Народній Республіці	17
РАДІОНЕНКО В. М., ГРИЖЕНКУ В. Ю. Джерела ртуті на території Донецької Народної Республіки внаслідок антропогенного впливу	21
ПОЛОХІНА І. І. Законодавчі аспекти проблеми поводження з палим листям у містобудуванні м. Донецька	26
ПАВЛЮЧЕНКО О. С., ГРИГОРЕНКО Н. І., ПОЛІЩУК П. В. Сучасний підхід до питання обв'язування технологічних вузлів насосних станцій пожежогашіння	35
ГОЛОВАТЕНКО К. Л., МАРКІН В. О. Екологічні аспекти водозабезпечення оборотних циклів вакуум-насосних станцій вугільних шахт	40
САВИЧ Д. В., ДОЛГОВ М. В. Інтенсифікація процесів теплообміну апаратів плівкового типу	45
ШАПОВАЛОВ В. В., КОЗИР Д. О. Ресурсозберігаюча технологія комплексної утилізації відвалів вугледобувних виробництв з отриманням глинозему і в'язучих матеріалів	54
ШЕЙХ О. О. Аналіз будівельного майданчика як джерела пилового забруднення атмосферного повітря в період рециклінгу відходів і розробка заходів щодо його зниження	61
СЕРДЮК О. І., БАШЕВА Т. С., ШАМПАТЕЙ О. О. Переробка шламу відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторів електрохімічним способом	68
НАЙМАНОВ А. Я., ТУРЧИНА Г. С. Огляд стану мережі водопостачання району м. Макіївки на базі аналізу ремонтно-відновлювальних робіт	73

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

ZAVOROTNYI DMITRII, UVAROVA ALEXANDRA. Theoretical Determination of the permissible Circulation Intensity in cylindrical Airlift Bioreactors-Clarifiers	5
KALINIHIN OLEG. Improvement of the System of Cleaning of Household Waste Water of the Thermal Generation Facility	11
GRYZHENKU VIKTORIAY, RADIONENKO VITALY. Opportunities for Digitalization of the Cardboard and Paper Sector in the Donetsk People's Republic	17
RADIONENKO VITALY, GRYZHENKU VIKTORIAY. Mercury Sources on the Territory of the Donetsk People's Republic as a Result of Anthropogenic Impact	21
POLOKHINA IRINA. Legislative Aspects of the Problem of Handling Dead Leaves in Urban Development of Donetsk	26
PAVLUCHENKO ALEKSANDR, GRIGORENKO NADEZHDA, POLYSHCHUK PAVEL. Modern Approach to the Issue of Piping of Technological Units of Pumping Stations for Fire Extinguishing	35
GOLOVATENKO EKATERINA, MARKIN VICTOR. Environmental Aspects of Water Supply of Rotary Cycles of Vacuum Pumping Stations of Coal Mines	40
SAVICH DARYA, DOLGOV NYKOLAY. Intensification of Heat Transfer Processes in Film-Type Devices	45
SHAPOVALOV VALERIY, KOZYR DMITRY. Resource-Saving Technology of Complex Utilization of Dumps of Coal-Mining Productions with Reception of Alumina and Binders	54
SHEIKH ALEXANDRA. Analysis of the Construction Site as a Source of Dust Pollution of Atmospheric Air During Waste Recycling and Development of Measures to Reduce it	61
SERDYUK ALEXANDER, BASHEVA TATIANA, SHAMPATEY OLEG. Processing of Sludge from Spent Lead-Acid Batteries by Electrochemical Method	68
NAIMANOV AUBEKIR, TURCHINA GALINA. Overview of the State of the Water Supply Network of the Makeyevka District based on the Analysis of Repair and Restoration Works	73

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.