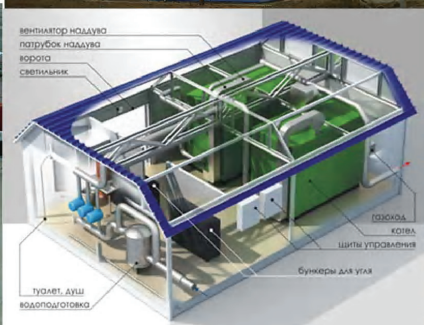
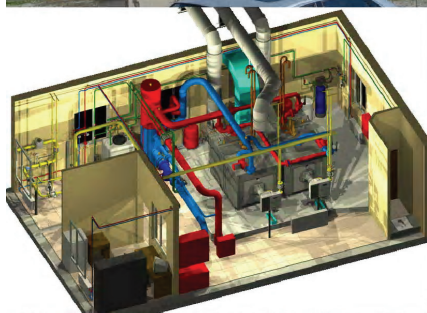
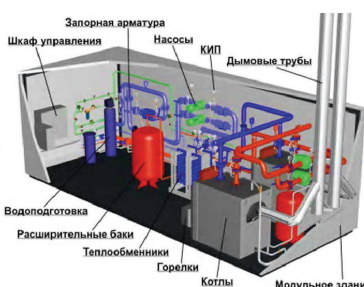


ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



Выпуск 2019-5(139)

**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 2019-5(139)

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Макеевка 2019

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 2019-5(139)

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ
ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2019

Основатель и издатель

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094

выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

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

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

Выпускается по решению ученого совета

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Протокол № 2 от 28.10.2019 г.

Редакционный совет:

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

Муцанов 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;

Высоцкий С. П., д. т. н., профессор;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Куликов Н. И., д. т. н., профессор;

Лукьянов А. В., д. т. н., профессор;

Муцанов 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.

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

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 18.11.2019

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», 2019

Засновник і видавець

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Свідоцтво про реєстрацію засобу масової інформації серія ААА № 000094

видано 17.01.2017 р. Міністерством інформації ДНР

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

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

Випускається за рішенням Вченої ради

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Протокол № 2 від 28.10.2019 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;

Висоцький С. П., д. т. н., професор;

Горохов Є. В., д. т. н., професор;

Куліков М. І., 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;

Насонкіна 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.

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

Програмне забезпечення С. В. Гавенко

Комп'ютерне верстання Є. А. Солодкова

Підписано до випуску 18.11.2019

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», 2019

УДК 628.168.628.161.2.628.164

О. И. БАЛИНЧЕНКО, И. В. ПУЗИК

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ПРОДЛЕННАЯ УПРОЩЕННАЯ АЭРАЦИЯ ПРИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

Аннотация. Рассмотрены положительные качества продленной упрощенной аэрации как метода обезжелезивания подземной воды в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения поселка Донецкого региона. В этом поселке увеличилась степень загрязнения подземной воды из скважин соединениями железа – с 5 до 6 мг/л. При этом существующие сооружения обезжелезивания, при отсутствии резервов, перестали справляться со своей задачей. В результате ухудшился вкус и цвет воды, не отвечая нормам водоочистки. Предложенный метод обезжелезивания позволит получить максимальную эффективность процесса при минимальных затратах, не предполагая увеличения объемов как сооружений, так и мощности аэраторов. Анализ механизма действия продленной аэрации, почерпнутый из действия аэрации сточных вод, позволил получить технологию и для подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевом водоснабжении поселка в Донецком регионе.

Ключевые слова: продленная упрощенная аэрация, обезжелезивание воды, волокнистая ершовая загрузка.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В данных исследованиях произведен поиск решения проблемы обезжелезивания подземной воды, используемой для водоснабжения одного из поселков Севера Донецкого региона. В систему входит хозяйственно-питьевое водоснабжение населения и промышленных предприятий. Проектная производительность системы – 4 000 м³/сутки [1]. В ее состав входят:

- источники водоснабжения – 4 рабочих скважины;
- обезжелезивающая установка;
- обеззараживающая установка;
- резервуар чистой воды;
- насосная станция 2-го подъема;
- установка повторного использования промывных вод.

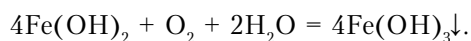
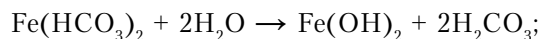
Источниками водоснабжения являются подземные воды верхнего мелового горизонта. Водозабор производится из скважин, оборудованных погружными насосами. Работа водозабора не нарушена.

По данным анализа воды, все показатели соответствуют ее питьевому качеству, кроме общего железа (в наличии – до 6 мг/л при допустимом количестве – 0,3 мг/л) и мутности (в наличии – до 5 мг/л при допустимой – до 1,5 мг/л).

Очевидно, что среднее содержание железа в водах поселка превышает допустимое более чем в 2 раза, а максимальное – в 2,8 раза [7]. Эту дозу железа можно удалить различными способами [2–6].

С учетом химических процессов обезжелезивания литературные источники [2, 3] предлагают окислить железо до нерастворимой формы трехвалентного оксида, отправив его в осадок и произведя затем процесс фильтрования. Проблема очень разнообразна по природным условиям, составу природных вод и рекомендаций технологий решений.

Железо в подземной воде наиболее часто находится в форме бикарбоната Fe(II), который является нестойким соединением, легко окисляется и гидролизуются с образованием хлопьев осадка гидроксида железа Fe(III):



Поэтому все способы обезжелезивания требуют предварительного окисления – аэрированием и освобождения от осадка – фильтрованием. Удаление уголекислоты ускоряет скорость окисления железа.

Из исходной воды, содержащей небольшое количество железа (до 10 мг/л) и имеющей рН воды выше 6,8 (наш случай), уголекислоту специально не удаляют, а обезжелезивают воду методом упрощенной аэрации с задержанием гидроокиси железа на фильтрах [3].

На окисление 1 мг Fe^{2+} расходуется 0,143 мг O_2 . Процесс обогащения воды кислородом при разбрызгивании ее в воздухе происходит весьма интенсивно. При падении капель воды, не содержащей растворенного кислорода, даже с высоты 0,5 м содержание кислорода в воде достигает 5 мг/л, что достаточно для окисления $5 : 0,143 = 35$ мг/л Fe^{2+} в Fe^{3+} .

Аэрация воды при этом может достигаться введением воздуха компрессором в смеситель на подающем трубопроводе при применении напорных фильтров или разбрызгиванием воды в воздухе при изливе ее в карман открытого фильтра (наш случай). Высота падения струй и капель воды в этом случае должна быть не менее 0,5–0,6 м, скорость истечения воды из направленной вверх трубы – 1,5–2 м/сек (как существует в исходном сооружении). Для окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} кислородом воздуха на 1 г удаляемого из воды железа нужно вводить в воду 2 л воздуха.

Если подавать воздух насосом, расход аэрируемой воды должен быть меньше производительности насоса. При этом количество засасываемого насосом воздуха должно составлять около 4 м³/ч на каждый килограмм железа, удаляемого из воды.

Окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} при обезжелезивании воды можно производить вместо кислорода воздуха другими окислителями – хлором, перманганатом калия и т. п. Безреагентные методы по причине экологичности предпочтительны во всех случаях. По Фрогу [5] безреагентные методы обезжелезивания могут быть применены, когда исходная вода характеризуется: рН – не менее 6,7; щелочность – не менее 1 мг-экв/л; перманганатная окисляемость – не более 7 мг O_2 /л. При наличии в воде железа от 5 до 10 мг/л рекомендуется обезжелезивание методом упрощенной аэрации с одноступенным фильтрованием.

Патент обезжелезивания подземных вод, приведенный в [8] предлагает «Способ обезжелезивания подземных вод аэрацией с последующим фильтрованием, отличающийся тем, что, с целью упрощения и уцеления способа обезжелезивания высокоминерализованных подземных вод при сохранении основного химического состава, **аэрацию осуществляют при соотношении воды и воздуха 1: (30–35)**», то есть весьма малыми дозами вносимого воздуха, сделав акцент на особенности доставки этого воздуха к окисляемому железу. Естественно, происходит колоссальная экономия воздухоудельных мощностей. Действительно, увеличение количества окислителя – кислорода бесполезно сверх количества, эквивалентного окисляемому железу, **хотя** можно всячески облегчать доступ к нему, то ли с помощью особых аэраторов, то ли увеличивая время аэрации или площадь контакта с воздушными пузырьками.

В нашем случае, чтобы обеспечить беспрепятственную доставку кислорода для окисления двухвалентного железа в трехвалентное, нужно применить метод упрощенной продленной аэрации.

Итак, предлагается метод обезжелезивания упрощенной продленной аэрацией с усовершенствованием аэрационного механизма, уже описанный в литературе по очистке сточных вод [2], но требующий обоснования и подтверждения для обезжелезивания подземной воды в конкретной практике.

Очевидно, что задача продленной аэрации – задержать пузырек воздуха подольше от момента всплытия и удаления из воды. Этому будет способствовать сила гидравлического трения каждого пузырька воздуха. Продленная аэрация означает не продление времени аэрирования (тем более, если оно круглосуточное) и даже не увеличение объемов вносимого воздуха, а увеличение длительности контакта пузырька с железонасыщенной водой. Желательно осуществить это «увеличение длительности контакта» с минимальными капиталовложениями и в строительную часть (например, не увеличивая объем входного канала фильтра) либо установив какие-либо особенные дробящие поток изливные устройства на входе в этот канал.

Но можно поступить еще проще, уложив во входной канал фильтра своеобразную «волокистую ершовую загрузку» [2], способную связать огромное количество пузырьков воздуха и удерживать

достаточно долго, способствуя их окислительной работе по переводу двухвалентного железа в трехвалентное. А дальше обезжелезенная вода уйдет в песчаную загрузку и, профильтровавшись – в РЧВ (с обеззараживанием), после чего – потребителям.

На рис. 1 приведена итоговая технологическая схема обезжелезивания, а именно, продленной упрощенной аэрацией с минимальными затратами (только на волокнистую загрузку).

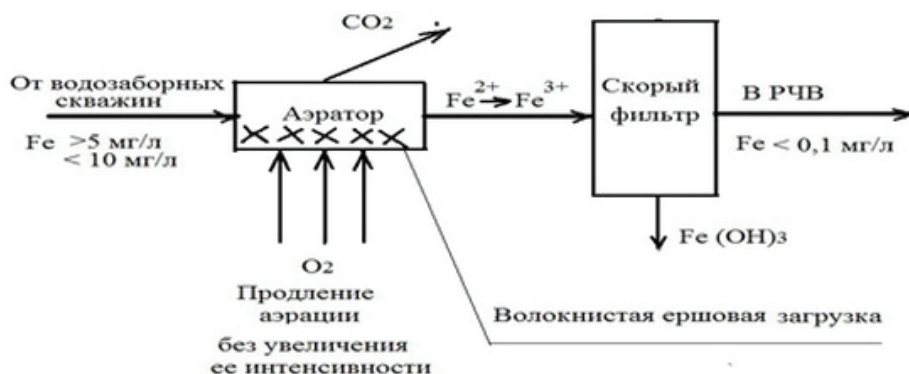


Рисунок 1 – Принципиальная схема обезжелезивания.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Схема лабораторной установки по продленной упрощенной аэрации воды представлена на рис. 2. В качестве волокнистой ершовой загрузки – «собираателя» пузырьков воздуха послужила елочная гирлянда, приобретенная в торговой сети г. Макеевки в 2018 г. Вода от подземного источника доставлялась в герметичных канистрах.

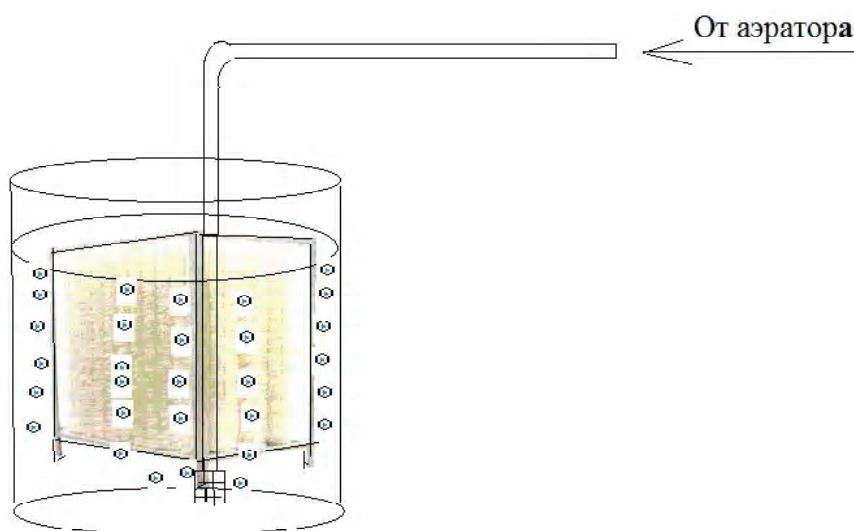


Рисунок 2 – Лабораторная установка в составе 5-литровой емкости, блока ершовой волокнистой загрузки и прикрепленного аквариумного аэратора.

Сравнивались основные показатели обезжелезивания (снижения концентраций закисного, окисного и общего железа, общей жесткости и общей щелочности и повышения водородного показателя pH в течение суток без применения ершовой волокнистой загрузки и с ней при одинаковой интенсивности аэрации и за одно время – 1 сутки. Ставилась задача: **ощутить положительный эффект от применения загрузки и дать рекомендации по его использованию на практике водоснабжения в конкретных производственных условиях.**

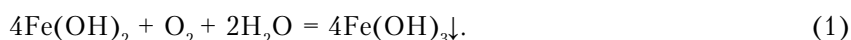
Сравнительные результаты окислительных процессов с классической упрощенной и продленной (волокнистой ершовой загрузкой) упрощенной аэрацией даны в таблице.

Таблица – Результаты окислительных процессов с обычной и продленной (волокнутой загрузкой) аэрацией (в течение суток)

Снижение концентрации железа общего, %		Снижение концентрации железа закисного, %		Снижение концентрации железа окисного, %		Снижение общей жесткости, %		Снижение общей щелочности, %	
без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой	без загрузки	с загрузкой
34	98	6,8	97	37	96	16	21	10	24

Как видно из таблицы, продленная аэрация (с загрузкой) существенно ускоряет окислительные процессы. При этом объемы поступающего в загрузку воздуха не увеличиваются, а с помощью ершей удерживаются в толще воды и продлевают свое окислительное действие.

Бикарбонат железа, кстати, в исходной воде от скважин содержаться не должен, ввиду наличия щелочной среды ($pH > 7$), а в воде, прошедшей аэрацию – тем более (при еще большем $pH = 8,05$ и $8,4$). Реакция образования осадка в щелочной среде проходит следующим образом:



Определим дозу необходимого кислорода. По уравнению (1) на окисление можно взять усредненное значение содержания кислорода в воздухе – 21 %. Из справочных таблиц по физике удельный вес воздуха при температуре $20^\circ C$ и давлении 760 мм рт. ст. равен $1,205 \text{ кг/м}^3$ [9].

Тогда для обеспечения максимальной растворимости кислорода в подземной артезианской скважине потребуется на 1 м^3 подземной воды: $13,1 \cdot 100 / 21 = 62,38 \text{ г}$ воздуха, что составит в объеме: $62,38 / 1,205 = 0,052 \text{ м}^3$ воздуха.

Производительность компрессора-аэратора для аэрации воды $315 \text{ м}^3/\text{ч}$ должна быть $315 \cdot 0,052 = 16,4 \text{ м}^3/\text{ч} = 273 \text{ л/мин}$.

По формуле, полученной в более ранних исследованиях [6] по обезжелезиванию подземных вод, аппроксимацией кривой снижения концентрации общего железа (по программе «Curve expert») рассчитаем время окисления общего железа до остаточной концентрации, разрешенной в питьевой воде: $Y = 3,82e^{-0,23x}$, где y – концентрация общего железа, т. е. $0,3 \text{ мг/л}$; x – время аэрации, часов. $0,3 = 3,82e^{-0,23x}$, откуда $x = 2,23$ часа. На это время нужно рассчитать **емкость резервуара по пузырьковому объему** с аэрируемой загрузкой. Получается $16,4 \cdot 2,23 = 11\,520 \text{ м}^3$ рабочей емкости. В рабочий объем потребуется разместить $11\,520 / 400 = 30$ м ершей волокна.

Технологическая схема обезжелезивания поселка в Донецком регионе дана на рис. 3. Предложенная новация – отмечена красным.

В качестве экономичности предложенного метода обезжелезивания подземной воды конкретно существующего поселка Донецкого региона было определено увеличение себестоимости очистки 1 м^3 воды, руб/ м^3 (с учетом повышения эксплуатационных затрат на предложенные новации и удешевления на сумму рассчитанного предотвращенного экологического ущерба [10]):

$$C_y = \frac{\Sigma E_n}{365 Q_{\text{сут}}} = 488\,732 / 365 \cdot 4\,000 = 0,33 \text{ грн},$$

(без учета стоимости волокнутой ершовой загрузки в аэраторе для интенсификации процесса упрощенной аэрации). По курсу рубля $1 : 0,4$ $C_y = 0,33 / 0,4 = 0,83 \text{ р}$. Это достаточно низкий показатель увеличения затрат от предложенного решения, благодаря которому население будет пить воду, соответствующую нормативам качества.

ВЫВОДЫ

1. При анализе путей улучшения системы хозяйственно-питьевого водоснабжения поселка в Донецком регионе, питаемой из нескольких скважин, обнаружено несоответствие норме по показателю содержания железа в воде, подаваемой потребителю. Это сказывается на качестве воды (вкус, запах).

2. На основании данных литературы, в качестве метода обезжелезивания была предложена упрощенная продленная аэрация, в основе которой лежит увеличение интенсивности контакта воздушно-газовых пузырьков с водой, содержащей неокисленные формы железа, окисляя и осаждая его.

3. При продлении аэрации подземной воды аэрацией с ершовой волокнутой загрузкой скорость окисления всех форм железа существенно возрастает (до 3 раз).

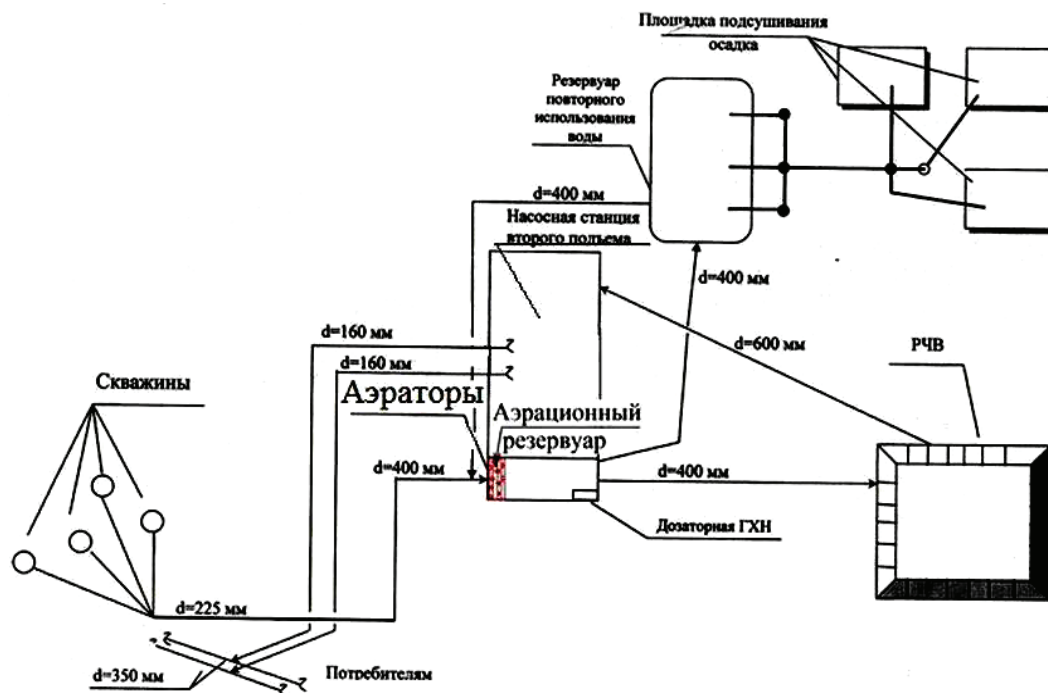


Рисунок 3 – Технологическая схема обезжелезивания сооружений водопровода пгт. Зеленый: *красным цветом обозначена новация (аэрационный резервуар с волокнистой загрузкой).

4. При аэрации с волокнистой загрузкой также снижается жесткость (чуть менее, чем вдвое) и щелочность воды (вдвое) и повышается рН (на пару десятых). Эти изменения в малых пределах, но в пользу улучшения качества воды и не противоречат литературе.

5. Предложенная схема обезжелезивания методом упрощенной продленной аэрации приведет к увеличению себестоимости очистки 1 м³ подземной воды на 0,83 р. Это достаточно низкий показатель увеличения затрат от предложенного решения. Взамен – обеспечение населения водой нормативного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологический регламент по эксплуатации водозабора «Краснолиманский-7» [Текст] : инструкция персоналу ; разраб. ЦКИПИВЛКП «Компания "Вода Донбасса"» ; утв. тех. директ. КП "Вода Донбасса В. В. Чугай. – [Красный Лиман] : Коммунальное предприятие «Компания "Вода Донбасса"». Красно-лиманское управление. – 2012. – 36 с.
2. Теоретические основы очистки воды [Текст] : учебное пособие / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко. – Донецк : изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение). – 2009. – 298 с.
3. Обезжелезивание воды, обезжелезивание воды из скважины, обезжелезивание воды НН [Электронный ресурс] // ЭкоВодоСистемы. – Нижний Новгород. – 2019. – Режим доступа : <http://eco-waters.ru/ru/articles/obezzhelezivanie-vody.html>.
4. Клячко, В. А Очистка природных вод [Текст] / В. А. Клячко, А. С. Апельцин. – М. : Стройиздат, 1971. – 579 с.
5. Фрог, Б. Н. Водоподготовка [Текст] : учебник для вузов / Б. Н. Фрог, А. Г. Первов. – М. : Изд. АСВ, 2015. – 512 с.
6. Балинченко, О. И. Интенсификация удаления из воды высоких концентраций железа [Текст] / О. И. Балинченко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Вип. 2010-6(86) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 3–9.
7. СП 2.1.5.1059-01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения [Электронный ресурс] / РАПО, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН и др. – Введены впервые ; введ 2001-10-01 / утв. главным врачом РФ Г. Г. Онищенко. – 2010. – Режим доступа : <http://gostfr.com/normadata/1/4294846/4294846954.pdf>.
8. Патент 73/732211 РФ, МПК, C02F 1/64(2006.01), C02F 101/20(2006.01), C02F 103/06(2006.01). Способ обезжелезивания подземных вод [Текст] / В. П. Евстафьев, Г. И. Николадзе, Э. З. Пен, Е. С. Райхман, А. И. Тимченко, Ю. И. Федькушов ; патентообладатель Бальнеотехническая партия по завершению гидрогеологических работ конторы «Геоминвод» Центрального научно-исследовательского института курортологии и физиотерапии. – № 2501375/29-26 ; заяв. 14.07.1977 ; опубл. 05.05.1980. – Бюл. № 17. – 4 с.

9. Водоснабжение [Текст] / [А. Я. Найманов, С. Б. Никиша, Н. Г. Насонкина, Н. П. Омельченко и др.]. – Донецк : «Норд-Пресс», 2004. – 650 с.
10. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды [Электронный ресурс] : приложение 7 / Объединенная комиссия АН СССР и ГКНТ по экономической оценке природных ресурсов и мероприятий по охране окружающей природной среды, Научный совет АН СССР по экономической эффективности основных фондов, капитальных вложений и новой техники ; № 254/284/134 от 21.10.1981. – М. : Экономика, 1986. – Режим доступа : <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293854/4293854046.htm>.

Получено 06.10.2019

О. І. БАЛІНЧЕНКО, І. В. ПУЗІК
ПРОДОВЖЕНА СПРОЩЕНА АЕРАЦІЯ ПРИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННІ ПІДЗЕМНОЇ
ВОДИ
ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Розглянуто позитивні якості продовженої спрощеної аерації як методу знезалізнення підземної води в системі господарсько-питного водопостачання селища Донецького регіону. У цьому селищі збільшився ступінь забруднення підземної води зі свердловин сполуками заліза – з 5 до 6 міліграм/л. При цьому існуючі споруди знезалізнення, за відсутності резервів, припинили справлятися зі своєю задачею. У результаті погіршав смак і колір води, не відповідаючи нормам водоочищення. Запропонований метод знезалізнення дозволить одержати максимальну ефективність процесу при мінімальних витратах, не передбачаючи збільшення як об'ємів споруд, так і потужності аераторів. Аналіз механізму дії продовженої аерації, що почерпнутий з дії аерації стічних вод, дозволив одержати технологію і для підземних вод, використовуваних в господарсько-питному водопостачанні селища в Донецькому регіоні.

Ключові слова: продовжена спрощена аерація, знезалізнення води, волокнисте йоржисте завантаження.

OXSANA BALYNCHENKO, IGOR PUZYK
EXTENDED SIMPLIFIED AERATION IN THE PROCESS OF UNDERGROUND
WATER DEIRONING
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Positive qualities of extended simplified aeration as method of deironing of underground water in the economic-drinkable water system of settlement of the Donetsk region have been considered. In this settlement it has been expanded the degree of contamination of underground water from mining holes by connections of iron – from 5 to 6 mgs. Thus existent deironing structures, while there are no backlogs, stopped controlling their task. Taste and color of water became worse as a result, falling short of standards water purification. The offered deironing method will allow getting maximal efficiency of process at minimum expenses, not supposing the increase of volumes of structures, as well as aeration powers. The analysis of extended aeration mechanism, drawn from sewage aeration running, allowed to get technology and for the underground waters made use in the economic-drinkable water-supply of settlement in the Donetsk region.

Key words: extended simplified aeration, water deironing, wavy brush filtering

Балинченко Оксана Иосифовна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: коррозия и защита водопроводов, защита трубопроводов от накипи.

Пузик Игорь Викторович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: удаление железа из природных подземных вод.

Балінченко Оксана Йосипівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: корозія і захист водопроводів, захист трубопроводів від накипу.

Пузік Ігор Вікторович – магістрант ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: видалення заліза з природних підземних вод.

Balynchenko Oksana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: corrosion and defense of plumbings, defense of pipelines from scum.

Puzyk Igor – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: iron removal from natural underground waters.

УДК 697.432.6.69

А. В. ЛУКЬЯНОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ЛОКАЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Аннотация. Обосновывается необходимость оценки влияния выбросов локальных источников тепловой энергии систем теплоснабжения как основы улучшения экологического состояния окружающей среды. Рассмотрены существующие способы снижения вредных веществ с продуктами сгорания и предложены мероприятия по снижению вредных выбросов. В жилищно-коммунальной теплоэнергетике используются различные котлоагрегаты: паровые и водогрейные; водотрубные и жаротрубные (газотрубные). Эти котлоагрегаты характеризуются большим рядом типоразмеров согласно их номинальной тепловой мощности. В котлоагрегатах коммунальной теплоэнергетики применяются все существующие виды топлива органического происхождения: твердое, жидкое и газообразное. Поэтому жилищно-коммунальная теплоэнергетика является существенным загрязнителем окружающей среды.

Ключевые слова: вредные выбросы, локальные котельные, оксиды азота, зола, окружающая среда, температура уходящих газов, газотрубные котлогенераторы.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее время получило распространение использование малогабаритных жаротрубных котлоагрегатов для локальных систем теплоснабжения. При разработке и создании нового оборудования, использующего органическое топливо, основными требованиями является эффективное использование топлива и снижение выбросов вредных веществ. Однако для котлоагрегатов малой мощности нет данных относительно выбросов, а отсутствие контроля в данном вопросе может значительно обострить и без того опасную экологическую обстановку, которая сложилась в настоящее время.

На предприятиях коммунальной теплоэнергетики, кроме потребности в регистрации состава и количества выбросов, учета влияния их на экологию региона, существует необходимость непосредственно существенной корректировки организации процессов сжигания топлива в направлении уменьшения образования вредных веществ, подробно рассматриваемых в работах отечественных и зарубежных исследователей в данном направлении.

Недостаточная разработка решения вопросов соблюдения установленных норм выбросов из котлоагрегатов локальных систем теплоснабжения при рассмотрении экологической ситуации отдельного региона в целом переводит данную проблему в разряд актуальных. Поэтому оценка влияния локальных котельных на состояние окружающей среды особенно актуальна в научном и прикладном аспектах.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Существующие способы снижения вредных веществ с продуктами сгорания можно разделить на [1]:

а) средства прямого действия, влияющие на концентрацию вредных выбросов в продуктах сгорания при заданном составе и параметрах топлива и окислителя. Осуществляется воздействием на процесс горения через конструкцию топочного устройства;

б) средства эксплуатационного действия, влияющие на общий выброс вредных веществ или их удельный выход на единицу тепловой мощности котлоагрегата;

в) средства суммарного воздействия влияют на концентрацию, общий выброс и удельный выход загрязняющих веществ путем очищающих устройств.

Для котлоагрегатов локальных систем теплоснабжения наибольшего внимания заслуживают первый [5, 6] и второй из перечисленных средств [2, 3, 4].

Однако несмотря на то, что за последнее время появилось много научно-исследовательских работ, направленных на разработку мероприятий по снижению эмиссии вредных веществ, к решению экологического вопроса в коммунальной теплоэнергетике еще далеко. Это объясняется не комплексным подходом в отношении снижения различных составляющих вредных выбросов, отсутствием экологического мониторинга как локальных систем теплоснабжения, так и других систем теплоснабжения в коммунальной теплоэнергетике.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ И ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью публикации является анализ экологического состояния в коммунальной теплоэнергетике, выделение основных составляющих в структуре экологического мониторинга и исследования его распространения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для организации оценки влияния локальных котельных на состояние окружающей среды необходимо контролировать содержание газовых и твердых выбросов предприятий коммунальной теплоэнергетики.

При сжигании любого органического топлива выбрасываются в окружающую среду продукты сгорания: углекислый газ (CO_2), водяной пар (H_2O), несгоревшее топливо: угарный газ (CO), водород (H_2), несгоревшие углеводороды (C_mH_n) и экологически вредные нормированные загрязнители: оксиды серы (SO_2), азота (NO_2) и зола. По составу и температуре уходящих газов можно делать выводы об эффективности работы котлоагрегатов. При наладке котлоагрегатов на оптимальный режим горения уменьшается количество несгоревшего топлива, т. е. решается задача ресурсосбережения, уменьшается количество избыточного воздуха, что увеличивает КПД котлоагрегатов и уменьшается количество экологически вредных примесей.

Контроль за работой котлоагрегатов на котельных осуществляется по режимным картам. Режимные карты составляются, как правило, один раз в три года. В течение этого времени параметры котлоагрегатов меняются существенно, и несмотря на то, что режим горения поддерживается операторами в норме, выбросы несгоревшего топлива и экологически вредных примесей могут отличаться от оптимальных параметров.

Применение газоанализатора для контроля состава продуктов горения совместно с датчиками температуры, входящими в базовый комплект газоанализатора, позволяет определить, какой режим горения топлива поддерживается в данный конкретный промежуток времени. При этом для каждого конкретного типа топлива и при данной метеорологической обстановке (температуре окружающей среды, давления, влажности) возможно определение оптимального соотношения подачи топлива и воздуха в устройство, где идет сжигание, критерии оптимума могут быть выбраны из различных соображений. Например, это может быть максимальная энергетическая эффективность котлоагрегата или минимальные затраты при данной тепловой мощности с учетом затрат на техническое обслуживание и платежей экологическим службам. Сопоставление режима горения, определенного по показаниям газоанализатора, с режимными картами, составленными при настройке технически исправного котлоагрегата, позволит прогнозировать возникновение технических неполадок в оборудовании.

Для оптимизации процесса горения на исправном котлоагрегате, например по максимальной энергетической эффективности, достаточно контролировать содержание в продуктах горения кислорода (O_2), окиси углерода (CO) и углекислого газа (CO_2). Соотношение этих компонентов несет информацию не только о коэффициенте полезного действия, но и о наличии технических неполадок (подсосов, негерметичности).

Для оптимизации процесса горения с учетом экономической эффективности нужно дополнительно контролировать содержание в выбросах оксидов азота (NO , NO_2), а также диоксида серы (SO_2), если сжигается уголь или мазут. Информация о концентрации оксидов азота также несет информацию о температуре горения и исправности газо- и дымоходов. Поэтому важна стационарная система оперативного мониторинга состава выбросов и режима горения топлива в котлоагрегатах.

Очевидно, что проблема организации эффективной работы котлоагрегата и проблема экологии тесно связаны между собой и решение одной автоматически влечет за собой и решение другой проблемы.

Эффективная работа котлоагрегатов обеспечивается оптимальным ведением режима горения топлива. Нерациональное ведение топочного процесса приводит [7]:

1. При подаче в топку воздух и топливо перемешиваются не полностью, поэтому в топку приходится подавать больше воздуха, чем необходимо теоретически. Чрезмерный избыток воздуха затем нагревается и выбрасывается в атмосферу, что в свою очередь вызывает перерасход топлива, потребляемого котлоагрегатом для нагрева излишков воздуха, и электроэнергии, потребляемой дутьевыми вентиляторами. На практике известно, что снижение на каждые 5 % количества подаваемого избыточного воздуха дает 1 % экономии топлива. Кроме того, при увеличении коэффициента избытка воздуха существенно увеличивается концентрация оксидов азота.

2. Недостаток воздуха при горении способствует образованию окиси углерода СО в дымовых газах и приводит к потере тепла от химической неполноты сгорания топлива, то есть к перерасходу топлива.

3. Повышение экономичности котлоагрегатов достигается снижением температуры уходящих газов. Из практики известно, что уменьшение температуры уходящих газов на 100 °С дает увеличение КПД котлоагрегата на 1 %, а снижение температуры в ядре факела приводит к уменьшению окисления азота воздуха и снижению выбросов оксидов азота с дымовыми газами.

4. При нерациональном режиме работы котлоагрегата происходит быстрое загрязнение поверхностей нагрева, что приводит к остановке котлоагрегата для чистки.

Каждая котельная установка, сжигающая топливо, должна платить за нормированные выбросы (NO_2 , SO_2 , зола). Уменьшение выбросов в результате наладки котлоагрегата на оптимальный режим и, следовательно, уменьшение платежей является экономическим стимулом для установки систем экологического мониторинга.

ВЫВОДЫ

Таким образом, одной из задач оценки влияния локальных котельных на состояние окружающей среды является накопление информации об основных источниках выбросов загрязняющих примесей, таких как СО, CO_2 , NO_x , SO_2 , предприятиями теплоэнергетики. На основе этих данных возможно составление базы данных для дальнейших исследований, выбора эффективных средств снижения выбросов вредных веществ. Оценка влияния локальных котельных на состояние окружающей среды позволяет ведение оптимального режима работы котлоагрегата и в конечном итоге приводит к экономии топлива, снижению себестоимости единицы тепла, повышению КПД котлоагрегата и улучшению экологической обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апальков, А. П. Термодинамическая оценка влияния коэффициента избытка воздуха и рециркуляции продуктов сгорания на энергетические характеристики топливоиспользующих агрегатов [Текст] / А. П. Апальков // Промислова теплотехніка. – 2004. – Т. 26. – № 2. – С. 142–146.
2. Clean Air Act Amendment 1990 [Text] // Boiler Emissions Reference Guide. – 1992. – № 3. – Р. 4–7.
3. Schneider, H. Neuentwicklungen für atmosphärische Brenner [Text] / H. Schneider // Gas-Z. Wirt umweltfreundl. Energie. – 1987. – Vol. 38. – Р. 5–9.
4. Mulholland, I. A. Fuel oil reburning application for NO_x control for firetube package boilers [Text] / I. A. Mulholland, R. E. Hall // Trans ASME. – 1995. – Vol. 22, № 2. – Р. 13–17.
5. Трубецкой, Е. А. Разработка низкоэмиссионной плоскопламенной горелки универсального назначения [Текст] / Е. А. Трубецкой // Промислова теплотехніка. – 2004. – Т. 26, № 2. – С. 138–141.
6. Флер, М. З. Газовая горелка для жаротрубных теплогенераторов малой мощности [Текст] / М. З. Флер // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2003. – Вип. 2003-4(41) Інженерні системи та технологія безпеки у будівництві. – С. 26–28.
7. Gas boiler [Текст] // Fir Cond. Heat / And Refring. News. – 1993. – Vol. 190, № 15. – Р. 30.

Получено 09.10.2019

О. В. ЛУК'ЯНОВ

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ЛОКАЛЬНИХ КОТЕЛЕНЬ СИСТЕМ
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ
ДОНБУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Обґрунтовується необхідність екологічного моніторингу джерел теплової енергії локальних систем теплопостачання як основи поліпшення екологічного стану навколишнього середовища. Розглянуто існуючі засоби зниження шкідливих речовин в продуктах згорання і запропоновано заходи щодо зниження шкідливих викидів. У житлово-комунальній теплоенергетиці використовуються різні котлоагрегати: парові і водогрійні; водотрубні і жаротрубні (газотрубні). Ці котлоагрегати характеризуються великою кількістю типорозмірів згідно з їх номінальною тепловою потужністю. У котлоагрегатах комунальної теплоенергетики застосовуються всі існуючі види палива органічного походження: тверде, рідке і газоподібне. З огляду на це житлово-комунальна теплоенергетика є істотним забруднювачем навколишнього середовища.

Ключові слова: шкідливі викиди, локальні котельні, оксиди азоту, попіл, навколишнє середовище, температура відхідних газів, газотрубні котлогенератори.

ALEXANDER LUKYANOV

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF EMISSIONS OF LOCAL BOILER SYSTEMS
OF HEAT SUPPLY ON THE ENVIRONMENT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The necessity of estimation of influence of emissions of local sources of thermal energy of systems of heat supply as bases of improvement of an ecological condition of environment has been proved. The existing methods of reducing harmful substances with combustion products are considered and measures to reduce harmful emissions are proposed. In housing and communal heat power various boilers are used: steam and hot water; water-tube and fire-tube (gas-tube). These boilers are characterized by a large range of sizes according to their rated thermal capacity. All existing types of fuel of organic origin: solid, liquid and gaseous are used as fuel in boilers of municipal heat power. Taking all these facts into accounts this housing and communal heat is a significant polluter of the environment.

Key words: harmful emissions, local boiler houses, nitrogen oxides, ash, environment, flue gas temperature, gas pipe boiler generators.

Лукьянов Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: автономные системы теплоснабжения, источники теплоты.

Лук'янов Олександр Васильович – доктор технічних наук, професор кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: автономні системи теплопостачання, джерела теплоти.

Lukyanov Alexander – Sc. D. (Eng.), Professor, Head of Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: independent heat supply systems, heat sources.

УДК 628.511

С. М. ОРЛОВ, Б. Р. РОМАНЕНКО, А. Я. ОРЛОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОНОВ

Аннотация. Защита атмосферы – социальная и экономическая проблема, неразрывно связанная с задачей создания комфортных условий для жизни и работы человека. Во многих промышленных выбросах содержатся ценные продукты, которые безвозвратно теряются. Поэтому очистка промышленных выбросов имеет санитарное и экономическое значение. При очистке газа от пыли наибольшее распространение получили циклоны, которые, как правило, устанавливаются в качестве предварительной ступени очистки. При этом аппараты тонкой очистки рассчитываются на весь объем газа. В настоящее время не исследован вопрос концентрации пыли и газодинамические процессы, протекающие в выхлопной трубе. Данные исследования позволят более рационально использовать энергию, затраченную на очистку газов в циклонах.

Ключевые слова: пылеуловитель, циклон, пыль, сила тяжести, сила Архимеда, центробежная сила.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Техника обеспыливания характеризуется большим разнообразием конструкций и форм исполнения обеспыливающего оборудования.

Циклоны являются наиболее характерными представителями сухих инерционных пылеуловителей, которые, как правило, имеют простую конструкцию, обладают большой пропускной способностью и несложны в эксплуатации. Ввиду этих преимуществ циклоны получили широкое распространение [1, 2]. Однако у циклонов есть и существенный недостаток, они не улавливают мелкодисперсную пыль $d < 20$ мкм. Имеется множество теоретических и экспериментальных работ, направленных на повышение эффективности циклонов. На их базе разработано большое количество конструкций циклонов, однако добиться существенного повышения эффективности не удалось, поэтому циклоны, как правило, используются для предварительной (грубой) очистки газов от пыли перед аппаратами тонкой очистки. Аппараты второй (тонкой) ступени очистки (рукавные, электрофильтры и др.) требуют значительно больших капитальных и эксплуатационных затрат, поэтому вопрос совершенствования циклонов, с целью уменьшения объемов газов, направляемых на аппараты второй ступени очистки, является актуальным.

В настоящее время основное направление работ выбрано на исследование нисходящего вихревого потока и его сепарационных свойств. Восходящий поток исследован недостаточно. Данный подход не рационален, поскольку на восходящий вихревой поток расходуется не менее 50 % энергии, затраченной на весь циклон. Не исследован вопрос концентрации пыли в восходящем потоке и газодинамические процессы, протекающие в нем. Проведение данных исследований является актуальной задачей, поскольку позволит значительно повысить энергоэффективность циклонов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование газодинамических процессов и концентрация пыли в восходящем вихревом потоке циклона.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения концентрации пыли в восходящем вихревом потоке циклона необходимо проанализировать силы, действующие на частицу пыли в восходящем вихревом потоке циклона.

При движении частицы в выхлопной трубе циклона на неё действуют следующие силы (рис. 1):

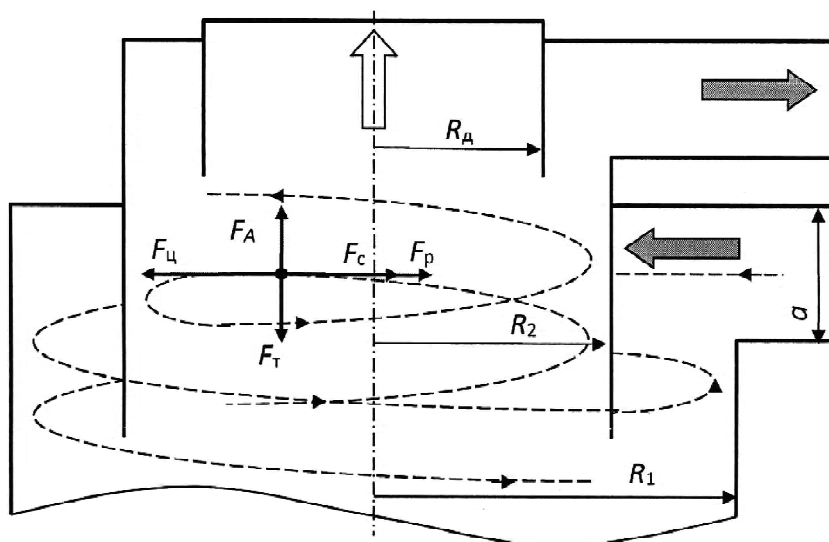


Рисунок 1 – Силы, действующие на частицу пыли в выхлопной трубе циклона.

- $F_{\text{ц}}$ – центробежная сила;
- $F_{\text{с}}$ – сила сопротивления среды;
- $F_{\text{р}}$ – сила, возникающая под действием радиального давления газа;
- $F_{\text{т}}$ – сила тяжести;
- $F_{\text{А}}$ – сила Архимеда.

Необходимо все вышеперечисленные силы подвергнуть ориентировочному анализу на вопрос их количественного влияния на положение частицы в восходящем вихревом потоке.

1. Сила тяжести, действующая на частицу:

$$F_{\text{т}} = m_{\text{ч}} g. \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения.

Сравним силу тяжести с центробежной силой. Возьмем наиболее распространенные условия: циклон ЦН11-600; скорость во входном патрубке 20 м/с, тогда

$$\frac{F_{\text{т}}}{F_{\text{ц}}} = \frac{m_{\text{ч}} g}{m_{\text{ч}} V_{\text{т}}^2 / R} = \frac{R g}{V_{\text{т}}^2} \approx 0,00735. \quad (2)$$

Таким образом, центробежная сила значительно превосходит силу тяжести. Таким образом, силой тяжести при рассмотрении движения частиц можно пренебречь. Это объясняет возможность работы циклона и в перевернутом положении.

2. Сила Архимеда значительно уступает по величине не только центробежной силе $F_{\text{ц}}$, но и силе тяжести $F_{\text{т}}$, поэтому силой Архимеда можно пренебречь:

$$\frac{F_{\text{А}}}{F_{\text{ц}}} = \frac{Q_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}}}{Q_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}} V_{\text{т}}^2 / R} = \frac{\rho_{\text{г}} R}{\rho_{\text{ч}} V_{\text{т}}^2} \approx 0,2 \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – объем частицы пыли.

Проведенный анализ сил, действующих на частицу пыли в выхлопной трубе циклона, показывает, что учитывать необходимо действие на частицу трех сил: центробежная сила $F_{\text{ц}}$, которая старается переместить частицу на периферию вихревого потока; $F_{\text{с}}$ – сила сопротивления среды перемещению частицы; $F_{\text{р}}$ – сила градиента давления, которая стремится переместить частицу в центр выхлопной трубы циклона. Результирующая сила, действующая на частицу пыли в выхлопной трубе циклона, равна:

$$\Sigma F = (F_{\text{ц}} - F_{\text{р}}) - F_{\text{с}}. \quad (4)$$

Поскольку $\Sigma F = 0$, тогда окончательно имеем баланс сил, действующих на частицу:

$$F_c = (F_u - F_p). \quad (5)$$

3. Определение значения центробежной силы.

Восходящий поток в циклоне вращается по закону твердого тела с постоянной угловой скоростью. Радиус вихря у разных авторов принимается разный. Так у Барта [3] радиус восходящего вихря в циклонах равен радиусу выхлопной трубы R_2 , по Тер-Линдену равен $2/3R_2$ [5], по Стейрманду он равен $1/2R_2$ [4].

Несмотря на разницу мнений, радиус восходящего вихря в циклоне в подавляющем большинстве случаев принимается равным радиусу выхлопной трубы R_2 . Данное утверждение было проверено авторами экспериментально и получило подтверждение. Поскольку восходящий вихрь вращается как твердое тело с постоянной угловой скоростью, то целесообразней вместо тангенциальной скорости пользоваться угловой. Угловая скорость равна:

$$\omega = \frac{V_{т.вхл}}{R_2}, \quad (6)$$

где ω – угловая скорость восходящего вихря, c^{-1} ;
 $V_{т.вхл}$ – тангенциальная скорость на внешней границе восходящего вихря (рис. 2), м/с;
 R_2 – радиус выхлопной трубы.

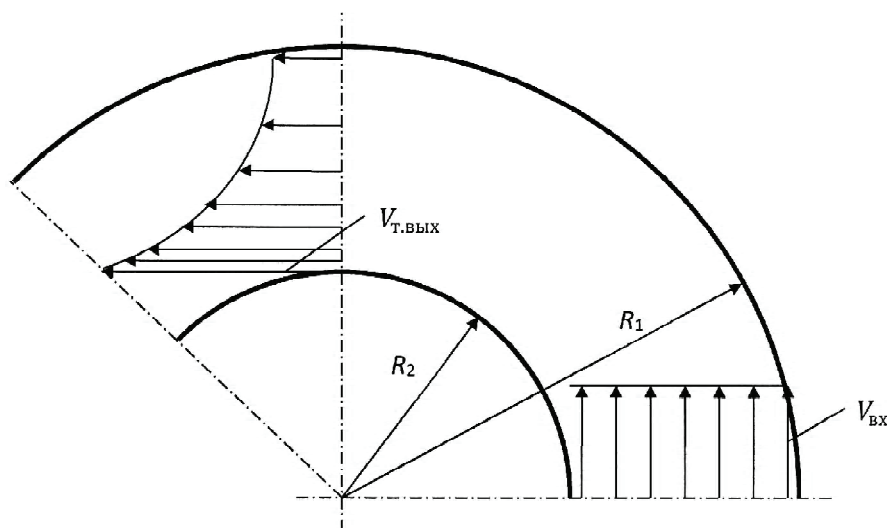


Рисунок 2 – Эпюры скоростей плоского потенциального течения в криволинейном потоке.

Во вращающихся потоках, ограниченных цилиндрическими поверхностями с радиусами R_1 и R_2 , при реальных вязких газах (рис. 2), распределение скоростей выражается уравнением [6]:

$$VR^n = k = const. \quad (7)$$

Большинство исследователей циклонов (Барт, Даниельс, Девис, Пирумов и др.) принимают $n = 1$. В подавляющих случаях все размеры циклона приводятся кратными его диаметру. Тогда распределение скорости в криволинейном канале на внешней границе восходящего вихря будет равно:

$$V = \frac{V_{вх}(R_1 - R_2)}{R \ln \frac{R_1}{R_2}}, \quad (8)$$

$$k = VR^1 = \frac{V_{вх}(R_1 - R_2)}{\ln \frac{R_1}{R_2}}, \quad (9)$$

где $V_{вх}$ – скорость газа во входном патрубке, м/с.

Размеры циклонов, как правило, приводятся кратными диаметру циклона, тогда имеем тангенциальную скорость на границе выхлопной трубы:

$$V_{m.вых} = \frac{V_{ex}(1-K_2)}{K_2 \ln \frac{1}{K_2}}, \quad (10)$$

где K_2 – отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона;
 $V_{m.вых}$ – тангенциальная скорость на границе восходящего вихря, м/с.

Постоянная k соответственно запишется в виде:

$$k = \frac{V_{ex} D (1-K_2)}{\ln \frac{1}{K_2}}, \quad (11)$$

где D – диаметр циклона, м.

Восходящий вихрь характеризуется показателем $n = -1$ и скорости распределены как в твердом теле. По аналогии с вращением твердых тел постоянная k и есть угловая скорость вращения потока ω . При $\omega = \text{const}$ течение является вихревым, поскольку все частицы потока вращаются вокруг собственных осей. Согласно [6] для сферических частиц при определении силы сопротивления в криволинейных потоках можно использовать формулу Стокса, полученную для прямолинейных потоков.

Тогда угловая скорость внутреннего вихря циклона в зависимости от скорости во входном патрубке равна:

$$\omega = \frac{2V_{ex}(1-K_2)}{DK_2^2 \ln \frac{1}{K_2}}. \quad (12)$$

Как видно из зависимости (12), угловая скорость в восходящем вихре циклона зависит прямо пропорционально от скорости во входном патрубке V_{ex} , отношения диаметра циклона к диаметру выхлопной трубы K_2 , и обратно пропорциональна диаметру циклона.

Данная зависимость справедлива для всех циклонов любых конструкций.

Тогда центробежная сила в данном случае равна:

$$F_{ц} = \frac{\pi \rho_{ч} d_{ч}^3 \omega^2 R}{6}, \quad (13)$$

где R – радиус траектории частицы, м;
 $\rho_{ч}$ – плотность частицы, кг/м³;
 $d_{ч}$ – диаметр частицы, м.

4. Сила, возникающая за счет радиального градиента давления газа.

Восходящий вихрь в циклоне представляет собой вихревой цилиндр.

Если в области циркуляционного течения распределение давления для несжимающейся жидкости определяется уравнением Бернулли, то в вихревой области распределение давления определяется из условия равновесия вращающихся частиц. На такую вращающуюся частицу A (рис. 3) действует две уравновешивающие друг друга силы:

С одной стороны, центробежная сила, равная [7]:

$$dF_{ц} = \rho_e R^* d\theta \omega^2 R^*. \quad (14)$$

С другой стороны, сила dP , обусловленная перепадом давления в вихревом цилиндре и равная:

$$dP = R^* d\theta dp. \quad (15)$$

Приравняв эти силы (14 и (15), получаем:

$$dp = \rho_e \omega^2 R^* dR^*. \quad (16)$$

Проинтегрировав выражение (16) от R^* до R_2 (рис. 4, 5), получим:

$$p_2 - p^* = (\rho_e / 2) (\omega^2 R_2^2 - \omega^2 R^{*2}), \quad (17)$$

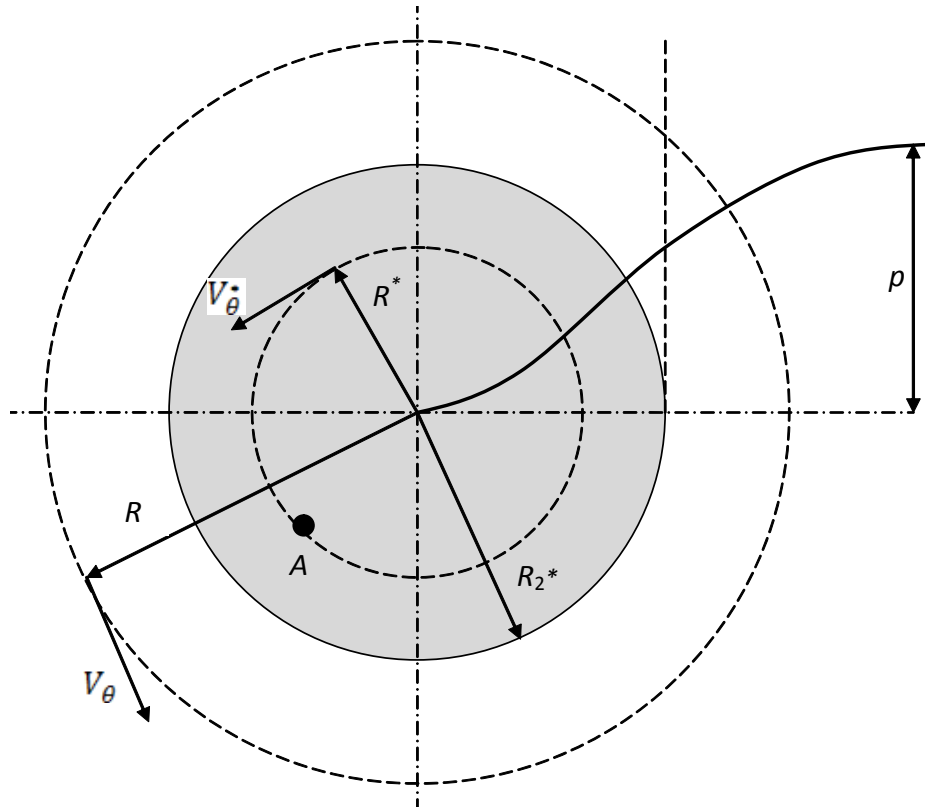


Рисунок 3 – Распределение давления в плоском вихре.

или

$$p^* = p_2 - \left(\frac{\rho_c}{2} \right) (V_{\theta 2}^2 - V_{\theta}^{*2}), \quad (18)$$

где p_2 и $V_{\theta 2}$ – соответственно давление и скорость на внешней границе вихря при $R^* = R_2$.

На внешней границе вихря можно воспользоваться уравнением Бернулли

$$p_2 = p_\infty - \frac{\rho_c V_{\theta 2}^2}{2}, \quad (19)$$

где p_∞ – давление на бесконечно удаленном расстоянии от оси вихря, где $V_\theta = 0$.

Подставив (19) в (18), тогда

$$p^* = p_\infty - \frac{\rho_c}{2(2V_{\theta 2}^2 - V_{\theta}^{*2})} = p_\infty - \rho_c \omega^2 R_2^2 \left(1 - \frac{R^*}{2R_2^2} \right). \quad (20)$$

В центре вихря $V_\theta^* = 0$ и тогда давление в центре вихря будет описываться выражением:

$$p_u = p_\infty - \rho_c V_{\theta 2}^2 = p_\infty - \rho_c \omega^2 R_2^2. \quad (21)$$

Подключение циклона в вентиляционной сети может быть самым разнообразным, и поэтому значение давления на границе восходящего вихревого потока p_1 может быть самым разнообразным. Нас интересует не абсолютное значение давления на границе восходящего вихревого потока, а характер распределения давления по поперечному сечению выхлопной трубы. Зная характер распределения давления по поперечному сечению выхлопной трубы циклона, мы можем определить силу, обусловленную градиентом давления, действующую на частицу пыли. Таким образом:

$$p^* = -(\rho_c / 2) (\omega^2 R_2^2 - \omega^2 R^{*2}). \quad (22)$$

Поскольку, размеры циклонов НИИОГаза приводятся кратными диаметру циклона, тогда имеем значение распределения давления по сечению выходной трубы:

$$p^* = -\omega^2 0,25 D^2 K_2^2 (\rho_g / 2) (1 - n^2). \quad (23)$$

Как видно из формулы (23), распределение статического давления в поперечном сечении выходной трубы циклона зависит от угловой скорости, плотности газа и конструктивных параметров циклона. При этом n может принимать значения $n \div 1$. В данном случае n обозначает долю текущего радиуса выходной трубы, который равен:

$$R_2 = 0,5 D K_2. \quad (24)$$

Подставив в формулу (23) значение угловой скорости восходящего вихря циклона (12), а также совместив ось циклона с началом координат, получим:

$$p^* = -\frac{\rho_g V_{\text{вх}}^2 (1 - K_2)^2}{2 K_2^2 \left(\ln \frac{1}{K_2} \right)^2} (1 - n^2). \quad (25)$$

Как видно из (25) распределение статического давления в поперечном сечении выходной трубы циклона зависит от плотности газа, скорости во входном патрубке и отношения диаметра выходной трубы циклона к его диаметру и абсолютно не зависит от диаметра циклона.

На рис. 4 показана зависимость распределения статического давления в поперечном сечении выходной трубы циклона. В теоретическом и экспериментальном исследованиях использовался циклон НИИОГаза типа ЦН11-300. Как показывают приведенные зависимости, данные по результатам теоретических исследований хорошо совпадают с экспериментальными данными. Максимальное расхождение не превышает 8 %. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований были аппроксимированы линейными функциями. Величины достоверности аппроксимации R^2 составляют вполне приемлемую для практических расчетов точность, при теоретических исследованиях $R^2 = 0,928$, а для экспериментальных $R^2 = 0,9311$.

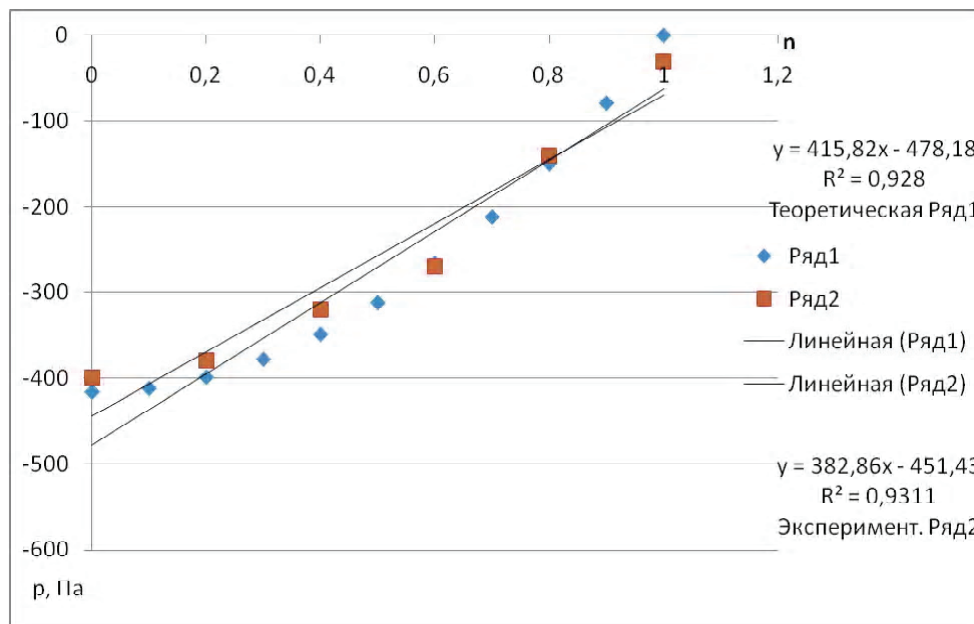


Рисунок 4 – Зависимости распределения статического давления по поперечному сечению выходной трубы: теоретическая – ряд 1; экспериментальная – ряд 2.

Таким образом, радиальное ускорение в поперечном сечении выходной трубы циклона равно:

$$a_{\text{ц}} = -\frac{dp}{\rho_g dn}. \quad (26)$$

Поскольку радиальный градиент давления в поперечном сечении выхлопной трубы циклона аппроксимирован линейной функцией, которая с достаточной степенью достоверности $R^2 = 0,928$ показывает, что для практических результатов нелинейную функцию (26) можно заменить линейной. Тогда ускорение по всему радиусу будет постоянным и равным:

$$a_{\text{ц}} = \frac{\Delta p}{\rho_{\text{г}} R_2} = \frac{\Delta p}{0,5 \rho_{\text{г}} K_2 D}, \quad (27)$$

где Δp – разность давлений у внутренней стенки выхлопной трубы и ее центром, Па.

Значение разности давления у внутренней стенки выхлопной трубы и ее центром Δp можно определить, решив уравнение (25) при $n = 0$, тогда:

$$\Delta p = \frac{\rho_{\text{г}} V_{\text{вх}}^2 (1 - K_2)^2}{2 K_2^2 \left(\ln \frac{1}{K_2} \right)^2}. \quad (28)$$

Формула (28) показывает, что перепад давления между внутренней стенкой выхлопной трубы и осью циклона зависит прямо пропорционально от скорости во входном патрубке и отношения диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона K_2 . Данная зависимость справедлива для циклонов любой конструкции.

Подставив (28) в (27) и сделав преобразования, получим:

$$a_{\text{ц}} = \frac{\Delta p}{0,5 \rho_{\text{г}} K_2 D} = \frac{V_{\text{вх}}^2 (1 - K_2)^2}{D K_2^3 \left(\ln \frac{1}{K_2} \right)^2}. \quad (29)$$

Как видно из формулы (29), ускорение в радиальном направлении выхлопной трубы циклона зависит прямо пропорционально от скорости во входном патрубке и отношения диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона и обратно пропорционально диаметру циклона. Зависимость (29) справедлива для циклонов любой конструкции.

Зная расстояние от оси циклона до внутренней поверхности выхлопной трубы R_2 и ускорение $a_{\text{ц}}$ можно определить время прохождения газа от внутренней стенки выхлопной трубы циклона к его центру, которое равно:

$$t_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{D K_2}{a_{\text{ц}}}} = \frac{D K_2^2 \ln \frac{1}{K_2}}{V_{\text{вх}} (1 - K_2)}. \quad (30)$$

Формула (30) показывает, что время $t_{\text{ц}}$ имеет прямо пропорциональную зависимость от диаметра циклона D , от коэффициента K_2 (отношение внутреннего диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона) и обратно пропорциональную зависимость от скорости газа во входном патрубке $V_{\text{вх}}$.

Для сферических частиц со стоксовским характером обтекания внешним потоком газа, время релаксации имеет вид [8]:

$$\tau = \frac{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^2}{\rho_{\text{г}} 18 \nu_{\text{г}}}, \quad (31)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы пыли, кг/м³;
 $\rho_{\text{г}}$ – плотность газа, кг/м³;
 $d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы, м;
 $\nu_{\text{г}}$ – коэффициент кинематической вязкости газа, м²/с.

На рис. 5 показаны зависимости времени релаксации частицы в газовом потоке и времени прохождения газового потока от внутренней стенки выхлопной трубы циклона к его центру для различных условий.

Как видно из графиков (рис. 5), зависимости времени $t_{\text{ц}} = f(V_{\text{вх.т.}})$ и $t_{\text{ц}} = f(K_2)$ составляют значения одного порядка с $\tau = f(d_{\text{ч}})$. Однако несмотря, что время $t_{\text{ц}} = f(D)$ значительно больше $\tau = f(d_{\text{ч}})$, все равно на пыль, находящуюся в выхлопной трубе, будет действовать сила, обусловленная тем, что под

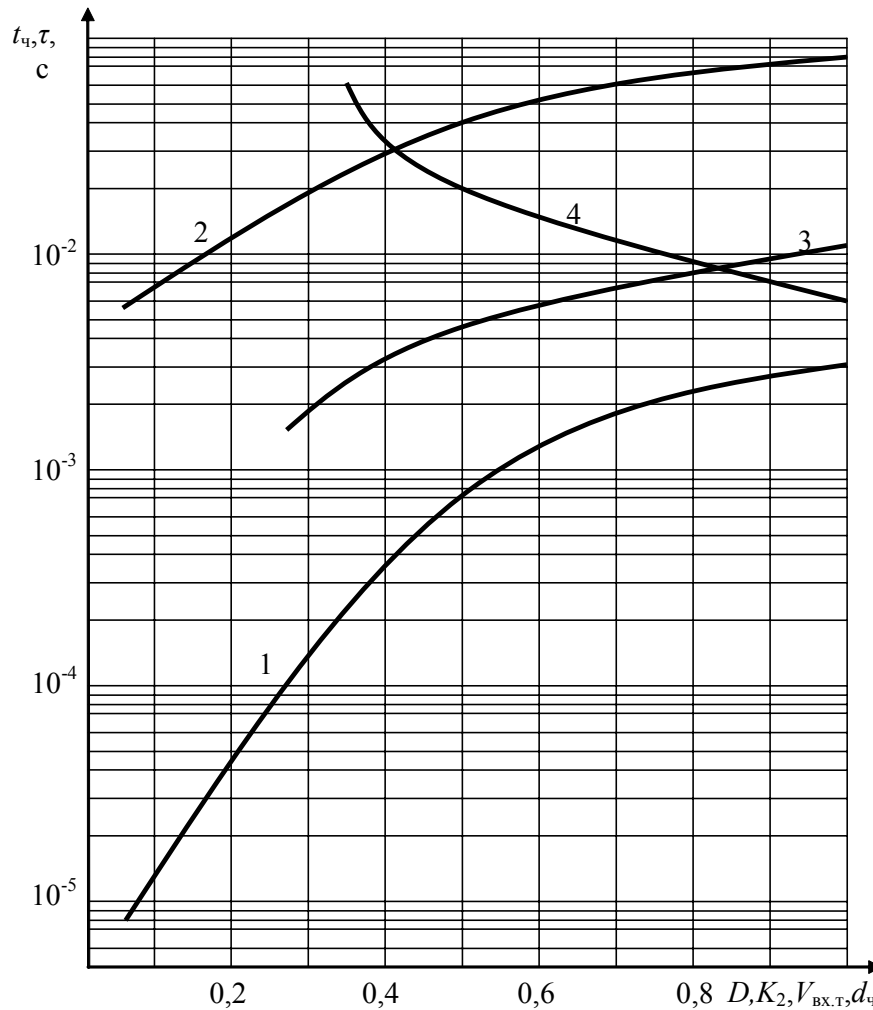


Рисунок 5 – Графики зависимостей: 1 – $\tau = f(d_{\text{ц}})$; 2 – $t_{\text{ц}} = f(V_{\text{вх.т.}})$; 3 – $t_{\text{ц}} = f(K_2)$; 4 – $t_{\text{ц}} = f(D)$.

действием градиента давления газ в выхлопной трубе в радиальном направлении движется с ускорением $a_{\text{ц}}$. Частицы пыли увлекаются газовым потоком и движутся вместе с ним равномерно ускоренно, но отставая на время релаксации τ . Тогда скорость частицы в радиальном направлении относительно потока при отсутствии других воздействий будет равна:

$$V_{\text{д}} = V_{\text{г}} - V_{\text{ц}} = a_{\text{ц}}t - a_{\text{ц}}(t - \tau) = a_{\text{ц}}\tau. \quad (32)$$

При нахождении частицы пыли в потоке, движущемся с ускорением, на частицу будет действовать сила, вынуждающая частицу двигаться с ускорением. Увлекательная сила потока газа равна [8]:

$$F_{\text{с}} = 0,5C_{\text{ц}}S_{\text{ц}}\rho_{\text{г}}V_{\text{д}}^2, \quad (33)$$

где $S_{\text{ц}}$ – эффективная площадь частицы пыли, для шара $S_{\text{ц}} = \pi d_{\text{ц}}^2 / 4$.

В формуле (33) присутствует коэффициент сопротивления частиц $C_{\text{ц}}$ газовому потоку, который зависит от числа Рейнольдса Re , которое определяется выражением:

$$\text{Re} = \frac{V_{\text{г}}d_{\text{ц}}}{\nu_{\text{г}}} = \frac{a_{\text{ц}}\tau d_{\text{ц}}}{\nu_{\text{г}}}. \quad (34)$$

Зависимость коэффициента сопротивления частиц $C_{\text{ц}}$ газовому потоку от числа Рейнольдса $C_{\text{ц}} = f(\text{Re})$ носит сложный характер и нет единой формулы, определяющей значение коэффициента сопротивления. Поэтому исследования граничных условий для определения зависимости коэффициента сопротивления частиц $C_{\text{ц}}$ необходимо продолжить в дальнейшей работе.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в восходящем вихревом потоке циклона, помимо центробежной и силы сопротивления среды, присутствует и сила, обусловленная радиальным градиентом давления, направленная к оси циклона.
2. Установлено, что силы тяжести и силы Архимеда имеют существенно меньшую величину по сравнению с центробежной силой и могут не учитываться.
3. Получена зависимость ускорения газового потока в радиальном направлении, направленная к оси циклона.
4. Полученные зависимости справедливы для циклонов любой конструкции, поскольку из конструктивных параметров в зависимостях присутствуют только диаметр циклона и отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона.
5. Дальнейшая работа в данном направлении является перспективной и должна быть продолжена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пылеулавливание в металлургии [Текст] : справочник / Под ред. А. А. Гурвица. – М. : Металлургия, 1984. – 336 с.
2. Алиев, Г. М. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок [Текст] / Г. М. Алиев. – М. : Металлургия, 1988. – 368 с., ил.
3. Bart, W. Berechnung und Auslegung von Zyklonabscheidern auf Grund neuer eruntersuchungen [Text] / W. Bart // Brennstoff-Warmekraft, 1956. – N 8. – P. 1–9.
4. Stairmand, C. J. Chemistry and industry [Text] / C. J. Stairmand, R. N. Kelsey. – [N. c. : S. n]. – 1324 p.
5. Ter Linden, A. I. Investigations into Cyclone Dust Collectors [Text] / Ter A. I. Linden // The Inst. of Mechanical Eng. – 1949. – V.160, N 2. – P. 233–251.
6. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха. [Текст] / А. И. Пирумов. – М. : Стройиздат, 1981. – 296 с.
7. Дейч, М. Е. Газодинамика [Текст] / М. Е. Дейч, А. Е. Зарянкин. – М. : «Энергоатомиздат», 1984. – 384 с.
8. Василевский, М. В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами [Текст] : монография / М. В. Василевский. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 258 с.

Получено 07.10.2019

С. М. ОРЛОВ, Б. Р. РОМАНЕНКО, А. Я. ОРЛОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦИКЛОНІВ ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Анотація. Захист атмосфери – соціальна і економічна проблема, нерозривно пов'язана із завданням створення комфортних умов для життя і роботи людини. У багатьох промислових викидах містяться цінні продукти, які безповоротно втрачаються. Тому очищення промислових викидів має санітарне та економічне значення. При очищенні газу від пилу найбільшого поширення набули циклони, які, як правило, встановлюються як попередні ступені очищення. При цьому апарати тонкого очищення розраховуються на весь об'єм газу. На даний час не досліджено питання концентрації пилу і газодинамічні процеси, що протікають у вихлопній трубі. Дані дослідження дозволять більш раціонально використовувати енергію, витрачену на очистку газів в циклонах.

Ключові слова: пиловловлювач, циклон, пил, сила тяжіння, сила Архімеда, центробіжна сила.

STANISLAV ORLOV, BORIS ROMANENKO, ALLA ORLOVA CYCLONES ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The protection of the atmosphere is a social and economic problem inextricably linked with the task of creating comfortable conditions for human life and work. Many industrial emissions contain valuable products that are irretrievably lost. Therefore, the treatment of industrial emissions is of sanitary and economic importance. When cleaning gas from dust, cyclones, which, as a rule, are installed as a preliminary cleaning stage, are most widely used. At the same time, fine filters are calculated for the entire volume of gas. At present, the issues of dust concentration and gas-dynamic processes in the exhaust pipe have not been studied. These studies will allow a more rational use of the energy spent on gas purification in cyclones.

Key words: dust collector, cyclone, dust, gravity, Archimedes force, centrifugal force.

Орлов Станислав Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и электроснабжения в строительстве ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: автоматизация процессов и аппаратов систем ТГВ.

Романенко Борис Романович – аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Орлова Алла Яковлевна – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вентиляция и кондиционирование помещений жилых и общественных зданий.

Орлов Станіслав Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та електропостачання в будівництві ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: автоматизація процесів і апаратів систем ТГВ.

Романенко Борис Романович – аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах опалення, вентиляції та кондиціювання повітря.

Орлова Алла Яківна – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вентиляція і кондиціювання приміщень житлових і громадських будівель.

Orlov Stanislav – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Electrotechnics and Automatics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: automation of processes and devices of DVT systems.

Romanenko Boris – graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving in heating, ventilation and air conditioning.

Orlova Alla – Senior Lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: ventilation and air-condition in go residential and public buildings.

УДК 614.894.43

Д. А. ПЛОТНИКОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ШАХТНЫХ
САМОСПАСАТЕЛЕЙ НА ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННОМ КИСЛОРОДЕ В
УСЛОВИЯХ ДНР**

Аннотация. В статье рассматривается проблема образования на территории ДНР отходов шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде, содержащем надпероксид калия. Скопление данных отходов (II-III класса опасности), являющихся высокоопасными и токсичными, для человека и окружающей среды представляет большую угрозу, т. к. процедура обращения с отходами шахтных самоспасателей законодательством не установлена. Проведен анализ и дана характеристика существующих способов утилизации регенеративного продукта, определены их достоинства и недостатки. Исследования доказали рациональность повторного использования (рециклинга) данного отхода в условиях ДНР.

Ключевые слова: шахтные самоспасатели, утилизация отходов, утилизация регенеративного продукта, надпероксид калия.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В угледобывающей отрасли Донбасского региона существует необходимость использования в больших количествах индивидуальных средств спасения, которые содержат регенеративные продукты. На данное время в условиях ДНР не предусмотрена необходимая процедура утилизации данных отходов. Таким образом, закономерно происходит неорганизованное скопление опасного для человека и окружающей среды продукта, содержащего надпероксид калия.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Детальное изучение публикаций по вопросам утилизации отходов регенеративных продуктов на химически связанном кислороде показало, что на данный момент не существует оптимальных способов утилизации данного опасного и токсичного отхода. Также анализ работ показал отсутствие существующих методов рециклинга данного дорогостоящего продукта, представляющего высокую материальную ценность.

ЦЕЛИ

Цель данной работы проанализировать состояние вопроса по проблеме отходов шахтных самоспасателей, содержащих регенеративные продукты в условиях ДНР. Дать характеристику существующим методам утилизации данных опасных отходов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Основной частью комплексной системы жизнеобеспечения в закрытых пространствах являются системы регенерации воздуха по кислороду и диоксиду углерода, которые можно разделить на две группы, принципиально отличающиеся друг от друга: регенерационные системы с применением сжатого кислорода и кислорода, полученного химическим путем. В качестве источников химически связанного кислорода, как правило, применяются надпероксиды калия или натрия, сформованные в виде гранул, таблеток или блоков из механических смесей порошков. Регенеративные продукты на

химически связанном кислороде (ХСК) широко применяются в качестве средств индивидуальной и коллективной защиты в непригодной для дыхания среде в различных областях: угольдобыча, флот, авиация, космос, пожарные службы спасения, горноспасатели и др. [7]. Средства химической регенерации воздуха предназначены для восстановления его состава по кислороду и CO_2 в системах жизнеобеспечения замкнутого цикла.

Широкое направление использования регенеративного продукта – в качестве средства с химически связанным кислородом для шахтных самоспасателей (далее ШСС) таких как: «1PVM KS», «ШСС-1», «СИ-30» и др. (рис. 1). Они используются для защиты органов дыхания и зрения на определенный период времени в случае чрезвычайной ситуации, при эвакуации подземного персонала время работы составляет 30–60 мин или неподвижного ожидания помощи до 180 мин. Система самоспасения подземного персонала шахт в аварийных ситуациях представляет собой совокупность технических средств и организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасных условий при выходе подземного персонала из выработок с непригодной для дыхания средой, или пребывание в них до восстановления нормального режима проветривания [3].



Рисунок 1 – Самоспасатель изолирующий ШСС – 1П.

Принцип работы: при вскрытии срабатывает пусковое устройство, в результате чего выделяется кислород, тепло и влага. Кислород заполняет дыхательный мешок, что позволяет пользователю начать дышать в первые секунды после включения до начала реакции в регенеративном патроне. Тепло и влага из пускового устройства, а также из выдыхаемой пользователем воздушной смеси запускают реакцию в регенеративном патроне. Вдыхаемая газовая дыхательная смесь (далее – ГДС) проходит через тепловлагообменник и гофрированную трубку в регенеративный патрон. В патроне вдыхаемая ГДС очищается от углекислого газа, обогащается кислородом и поступает в дыхательный мешок (при вдохе идет обратный процесс). Избыточная ГДС удаляется через избыточный клапан.

Самоспасатели на ХСК получили широкое распространение не только в странах СНГ, их также используют в таких странах как США, Германия, ЮАР, Перу и др. [6]. В Донецкой области ШСС производится одним предприятием ООО «Интеркод» (Донецкий завод горноспасательной аппаратуры) и в качестве вещества, регенерирующего кислород, в основном применяется кислородсодержащие продукты на основе надпероксида калия (KO_2), поскольку он обладает способностью удалять из воздуха CO_2 и пары воды и одновременно генерировать большое количество кислорода [1]. Состав кислородсодержащего продукта ОКЧ-3: надперекись калия (KO_2) – не менее 85 %; известь (CaO) – 11...15 %; асбест хризотилловый $[\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5) \cdot \text{OH}]$ – 1,5...2,5 % [1].

Гарантийный срок службы ШСС составляет 5 лет, по истечении которого его необходимо утилизировать либо обезвредить. По данным Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты НИИГД «Респиратор» в ДНР существует потребность в утилизации порядка 10 тонн ШСС ежегодно. Но, несмотря на необходимость утилизации такого количества кислородсодержащего продукта (ОКЧ-3 рис. 2), вопросы утилизации отходов ШСС остаются открытыми. Исследования по оптимальному способу утилизации



Рисунок 2 – Регенеративный продукт ОКЧ-3.

или обезвреживания не проводились, к тому же отработанные самоспасатели и регенеративный продукт, несмотря на многолетнюю практику их применения, внесены в Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) в качестве отдельных видов отходов только в 2016 г. [2].

В федеральном законе № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» указано, что «Самоспасатели изолирующие с химически связанным кислородом... имеют II-III класс опасности и подлежат утилизации либо обезвреживанию в **специализированной организации, имеющей лицензии** на сбор, транспортирование ...». Также в законе существуют следующие понятия [2]:

- *утилизация отходов* – использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), а также извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация);

– *обезвреживание отходов* – уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду [2].

Производители ШСС регламентируют необходимость утилизации отработавших свой срок и использованных ШСС в инструкциях по эксплуатации. Рекомендации заключаются в необходимости передавать их в специализированные организации, имеющие лицензию и аккредитацию завода-изготовителя (в ДНР на 2019 г. такие организации отсутствуют). Никаких конкретных способов утилизации либо обезвреживания регенеративного продукта, который является высокоопасным веществом, не дается. На сегодняшний день основным способом утилизации ШСС является разборка на составные части (обработка отхода) с последующей утилизацией или обезвреживанием вторичных отходов (регенеративного продукта, металлических, резиновых, пластиковых и тканевых частей). Анализ литературных источников по вопросам утилизации самоспасателей позволил выделить основные способы, выявить их проблемы и недостатки, которые отображены в табл. 1 [5].

Таблица 1 – Характеристика основных способов утилизации самоспасателей

Наименование способа утилизации самоспасателей	Сжигание	Гашение водой (с последующим сливом в специальную канализацию)	Нейтрализация (путем добавления слабого раствора соляной, серной или азотной кислоты)	Повторное использование (за счет извлечения регенеративного продукта из использованного самоспасателя с последующим применением в новом аппарате)
Годы применения	применялся в 60–70х гг.	применяется с 80 гг. – н. в.	применяется с 90 гг. – н. в.	применяется с 90 гг. – н. в.
Основные недостатки способа	значительный вред окружающей среде	в результате реакции с водой образуется опасная щелочь	опасность реакции кислотной утилизации. Высокая стоимость	для повторного использования пригодно 10 % от всего объема, остальные 90 % продукта с высоким содержанием гидроксида калия сливается в канализацию после нейтрализации

Любые действия с регенеративным продуктом представляют большую опасность вследствие его высокой реакционной способности и токсичности для человека и окружающей среды (способен к самовоспламенению, впитывает воду из воздуха и превращается в высококонцентрированную калийную щелочь, содержит большое количество остаточного кислорода и CO_2 , которые выделяются

при взаимодействии с воздухом или при растворении). Поэтому на сегодняшний день наиболее распространены следующие схемы действия:

– *повторное использование (утилизация)* регенеративного продукта, если установлено, что средство защиты не подвергалось использованию и находится в неповрежденной герметичной заводской упаковке [4];

– *обезвреживание* регенеративного продукта путем гашения его в растворе кислоты. Регенеративный продукт аккуратно засыпают в емкость, наполненную слабым водным раствором кислоты, контролируя уровень pH. По достижении уровня pH 6,5...8,5 сливают в промышленную канализацию, которая выходит на очистные сооружения кислых стоков. Проводить обезвреживание можно соляной, уксусной, серной и азотной кислотами.

Многолетний опыт ООО «Сибирский центр утилизации» показывает, что для повторного использования годится, как правило, 10 % от всего объема, остальное необходимо обезвреживать [4]. Поскольку в воде регенеративный продукт растворяется с выделением гидроксида калия, высокие концентрации его требуют большого количества кислоты для нейтрализации, чтобы иметь возможность сливать на локальные очистные сооружения кислой канализации нейтрализованный раствор. При этом в канализацию сливаются тонны ценного продукта с высоким содержанием калия.

Надпероксид калия является ценным продуктом и имеет широкий спектр применения в таких областях, как: промышленность, городское и сельское хозяйство и др. Некоторые области и перспективные направления применения препаратов на основе надпероксида калия приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Перспективные направления применения препаратов на основе надпероксида калия

Вещество	Область применения	Направления применения
надпероксид калия KO_2	Промышленность	1. Композиции герметических составов.
		2. Отбелка целлюлозоэосодержащих материалов
		3. Источник кислорода в металлургии
		4. Щелочной агент при обесцвечивании
	Сельское хозяйство	1. Ускорение процесса перегнивания.
		2. Аэрация (оксидация) почвы.
		3. Улучшение прорастания корней.
		4. Ускорение адаптации пересаженных растений.
	Решение военнопприкладных задач	1. Детоксикация и утилизация токсичных химикатов.
		2. Ремедиация загрязненных территорий.
	Охрана окружающей среды	1. Фунгицид для почв (токсинов).
		2. Регулятор pH почвы.
		3. Аэрация почвы и воды.
		4. Очистка водоемов от ионов металлов.
		5. Дезодорирующий агент
	Бытовые нужды	1. Фармацевтические препараты и косметика.
		2. Реагент для очистки воды.
		3. Дезинфицирующее и фунгицидное действие.
		4. Устранение запахов фекальных отходов.

Основные факторы, составляющие ценность регенеративного продукта ОКЧ-3 (надпероксида калия):

- высокая трудоемкость при производстве продукта;
- повышенная опасность и вредность при производстве продукта;
- высокая стоимость продукта;
- сложность и дороговизна поставки регенеративного продукта в ДНР;
- опасность для окружающей среды, необходимость в обязательной и дорогостоящей утилизации отработанного продукта.

ВЫВОДЫ

1. Самоспасатели на химически связанном кислороде широко распространены в мире и применяются в различных областях, связанных с безопасностью жизнедеятельности.

2. В ДНР ежегодно собирается большое количество отходов самоспасателей представляющих одновременно как высокую опасность (II-III класс опасности), так и материальную ценность не отработанного регенеративного продукта.

3. Проведенный анализ позволил сделать вывод о целесообразности утилизации регенеративного продукта без нейтрализации с получением гидроокиси калия, который может быть использован как сырье для получения различных востребованных промышленных продуктов (в городском хозяйстве, сельскохозяйственном производстве). Таким образом добиться рециклинга отхода калийного раствора, именно в этом направлении необходимо проводить дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повторное использование регенеративного продукта изолирующих самоспасателей [Текст] / Э. Г. Ильинский, Н. Н. Бурего, Л. А. Зборщик // Горноспасательное дело. – 2010. – № 47. – С. 152–159.
2. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс] : Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 г. – Режим доступа : <https://legalacts.ru/doc/FZ-ob-othodah-proizvodstva-i-potrebleniya/>.
3. Гудков, С. В. Средства защиты органов дыхания подземного персонала угольных шахт – современное состояние и перспективы развития с учетом мирового опыта [Текст] / С. В. Гудков, А. В. Милосердов // Системы и технологии жизнеобеспечения, индикации, химической разведки и защиты человека от негативного воздействия факторов химической природы : материалы Международной научно-практ. конф. (9 октября 2013 г., Тамбов). – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – 2013. – С. 118–119.
4. Зеленцова, В. В. Утилизация регенеративного калийсодержащего продукта шахтных самоспасателей [Текст] / В. В. Зеленцова, О. А. Неверова // Актуальные вопросы современной науки : сборник статей по материалам VIII международной научно-практической конференции (16 декабря 2017 г., Томск) ; в 4-х частях. – Том 1, Ч. 1. – Томск : ООО Дендра. – 2017. – С. 13–18.
5. Nemtsev, A. V. Actual issues on using of insulating industrial self-rescuers. Self-rescuers on chemically bound oxygen [Text] / A. V. Nemtsev, E. M. Westmoreland // Labor Safety in Industry. – 2013. – No. 2(2013). – P. 62–66.
6. Asbestos Test Report – Ergosaf Environmental & Occupational Health Services, A Division of LexisNexis (Pty) Ltd [Text] : An assessment on asbestos contamination of soil, surface and ground water as well as airborne concentrations of asbestos fibres at the asbestos waste dump of eskom komati power station / O. Bamford, T. Hopkins, M. van Zyl. E–[N. c.], 2017. – 211 p. – PROJECT NO: 12347AC.
7. Sandström, A. Improving self-rescue equipment [Electronic resource] / Anders Sandström. – Umea Institute of Design. – 2015. – March 15. – Access mode : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:850140/FULLTEXT01.pdf>.

Получено 06.10.2019

Д. О. ПЛОТНИКОВ

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ ШАХТНИХ САМОРЯТІВНИКІВ НА ХІМІЧНО ПОВ'ЯЗАНОМУ КИСНІ В УМОВАХ ДНР ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглядається проблема утворення на території ДНР відходів шахтних саморятівників на хімічно пов'язаному кисні, що містить надпероксид калію. Скупчення даних відходів (II-III класу небезпеки), що є високонебезпечним і токсичним, для людини і навколишнього середовища становить велику загрозу, оскільки процедура поводження з відходами шахтних саморятівників на законодавчому рівні не встановлена. Проведено аналіз і дана характеристика існуючих способів утилізації регенеративного продукту, визначено їх переваги та недоліки. Дослідження довели раціональність повторного використання (рециклінгу) даного відходу в умовах ДНР.

Ключові слова: шахтні саморятівники, утилізація відходів, утилізація регенеративного продукту, надпероксид калію.

DENYS PLOTNIKOV

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF WASTE FORMATION OF MINE SELF-RESCUERS ON CHEMICALLY BOUND OXYGEN IN THE CONDITIONS OF THE DPR

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article considers the problem of the formation of chemically bound oxygen mine self-rescuers in the territory of the DPR containing potassium superoxide. The accumulation of these wastes (hazard

class II-III) that are highly hazardous and toxic to humans and the environment poses a great threat since The procedure for handling waste from mine self-rescuers has not been established by law. The analysis is carried out and the characteristic of the existing methods of utilization of the regenerative product is given, their advantages and disadvantages are determined. Studies have proved the rationality of the reuse (recycling) of this waste in the conditions of the DPR.

Key words: mine self-rescuers, waste disposal, recovery of recoverable product, potassium superoxide.

Плотников Денис Александрович – ассистент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: ресурсосберегающие технологии; повторное использование отходов самоспасателей на химически связанном кислороде.

Плотніков Денис Олександрович – асистент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: ресурсозберігаючі технології; повторне використання відходів саморятівників на хімічно пов'язаному кисні.

Plotnikov Denys – Assistant, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: resource-saving technologies; reuse of chemically bound oxygen self-rescuers.

УДК 504.064.4

Д. А. ДОСТОВАЛОВА, Н. С. ПОДГОРОДЕЦКИЙ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**МОНИТОРИНГ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ОТВАЛА ГОРНЫХ ПОРОД
ШАХТЫ ИМ. М. И. КАЛИНИНА**

Аннотация. В статье представлены результаты мониторинга теплового состояния действующего отвала горных пород шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь», выполнен сравнительный анализ с данными о температурной съемке за 2012 год, предложены мероприятия по тушению отвала горных пород. Результаты исследования могут быть использованы для достижения экономического эффекта от рециклинга накопленных техногенных отходов, а также для повышения экологической безопасности промышленных регионов.

Ключевые слова: отвал горных пород, температурная съемка, инфракрасный термометр, самовозгорание.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В современном мире все большую значимость приобретает проблема экологической деформации территорий под воздействием антропогенного фактора. Технология добычи каменного угля предусматривает выемку вмещающих угольные пласты горных пород и выбракованного угля на поверхность, вследствие чего формируются антропогенные ландшафты (отвалы горных пород), которые приводят к нарушению целостности и динамики естественных природных экосистем.

Отвалы горных пород являются одной из главных составляющих в структуре загрязнителей окружающей среды Донбасса. При этом большинство породных отвалов с течением времени самовозгораются, что практически исключает возможность их переработки, а также способствует значительному изменению состава атмосферного воздуха, выделению в атмосферу оксида углерода, сернистого ангидрида, сероводорода, оксидов азота и других продуктов горения.

Мониторинг теплового состояния отвалов горных пород позволяет предупредить самовозгорание и минимизировать негативное воздействие на окружающую природную среду.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В статье «Мониторинг теплового состояния породных отвалов с использованием дистанционных методов контроля», С. П. Высоцким и Д. А. Козырем предложен метод мониторинга теплового состояния поверхности действующих и неэксплуатируемых, горящих и негорящих породных отвалов с использованием беспилотных летательных аппаратов для выявления очагов самонагрева на начальной стадии горения породных отвалов [1].

В работах М. П. Зборщика и В. В. Осокина установлено, что горение отвальной породы происходит вследствие биохимического и химического окислительного выщелачивания пирита с выделением им паров элементарной серы и ее воспламенением на воздухе, при этом одним из основных направлений предупреждения самовозгорания отвалов горных пород является контроль теплового состояния породного отвала [2, 3].

ЦЕЛЬ

Мониторинг теплового состояния действующего отвала горных пород шахты им. М. И. Калинина ГП «Макеевуголь», разработка мероприятий по тушению отвала горных пород.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Отвал горных пород ОП «Шахта им. М. И. Калинина» ГП «Макеевуголь» расположен на северо-востоке от промплощадки шахты. Отвал плоский, эксплуатируется с 1962 года, площадь основания породного отвала по проекту составляет – 260 000 м²; фактически – 213 188 м²; высота породного отвала по проекту – 100 метров; фактически – 82 м [4].

Порода доставляется автотранспортом, выгружается плотно прилегающими друг к другу конусами. Обнаруживаемые при этом горючие материалы (отходы леса, куски угля, обрезки транспортной ленты и др.) отбираются и удаляются из отвальной массы. Из выгруженной породы бульдозером формируется слой с частичным перемещением породы и ее планировкой [4].

По откосу ограждающей призмы с наружной стороны отсыпается и формируется изолирующий слой из инертного материала толщиной 0,8 м. Формирование слоя внутри ограждающей призмы производится в направлении от призмы к середине отвала в том же порядке, что и формирование самой призмы. Уплотнение породы при этом происходит естественным образом, колесами автомобилей и гусеницами бульдозера. Формирование следующего слоя производится аналогичным способом, начиная с ограждающей призмы [4].

Для проведения мониторинга была выполнена температурная съёмка в некоторых точках очагов горения, выявленных по результатам контроля теплового состояния в 2012 году [4], а также в предполагаемых (видимых) очагах горения.

Температурная съёмка выполнена в сентябре 2019 года при температуре окружающего воздуха от +18 до +22 °С, в соответствии с Методическими указаниями для проведения температурных съёмок на породных отвалах угольных шахт и обогатительных фабрик [5]. Измерение температуры производилось на глубине 0,5 м бесконтактным методом с помощью инфракрасного термометра GM 320 (рис. 1).



Рисунок 1 – Инфракрасный термометр GM320.

Технические характеристики инфракрасного термометра GM320

Диапазон контролируемых температур, °С	–50 ~ +380
Разрешение, °С	0,1
Погрешность измерения, °С	± 1
Спектральный отклик, μm	7 ~ 14
Расстояние: пятно	12 : 1
Излучательная способность	0,10 ~ 1,00 (регулируемая)
Время отклика, ms	500
Габаритные размеры, мм	155 × 95 × 43

В момент проведения температурной съёмки (рис. 2) отвал горных пород состоит из трех ярусов. На верхнем ярусе имеются подготовленные площадки для складирования породы.

Расположение очагов горения отвала горных пород, выявленных по результатам контроля теплового состояния в 2012 году, показано на рисунке 3 в масштабе 1:2 000.



Рисунок 2 – Фото с места (очаг № 1) проведения температурной съёмки на отвале горных пород ОП «Шахта им. М. И. Калинина» ГП «Макеевуголь» в сентябре 2019 года.

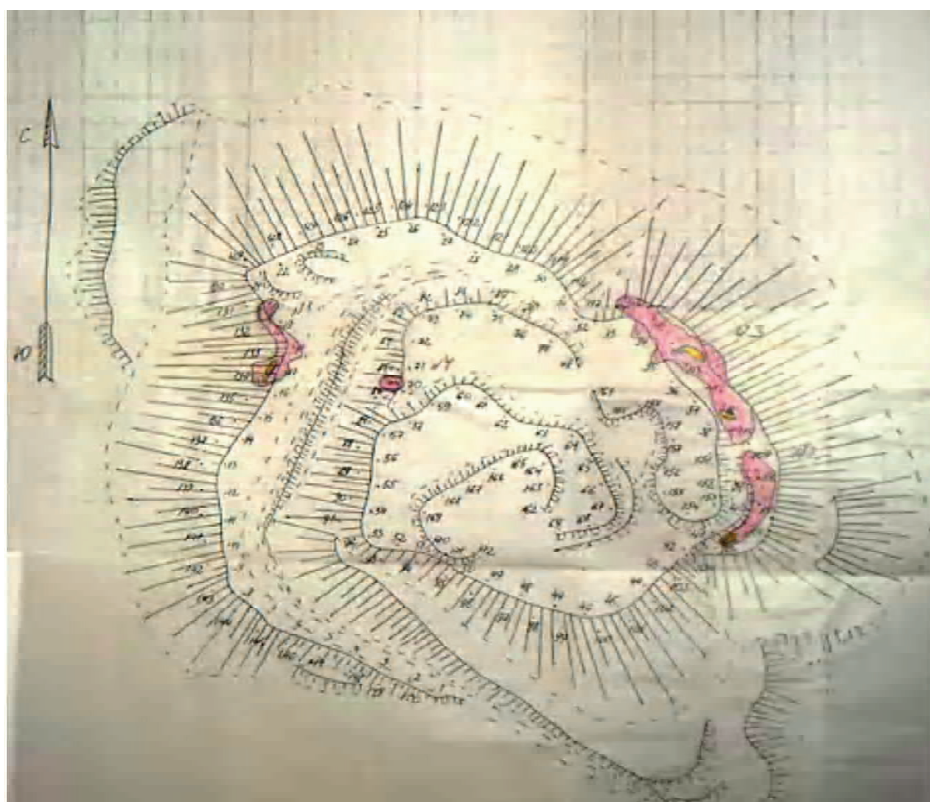


Рисунок 3 – Схема расположения очагов горения отвала горных пород ОП «Шахта им. М. И. Калинина» ГП «Макеевуголь» в сентябре 2012 года [4].

Форма очагов горения и расположение точек замера показаны на рисунках 4, 5 в масштабе 1:500.

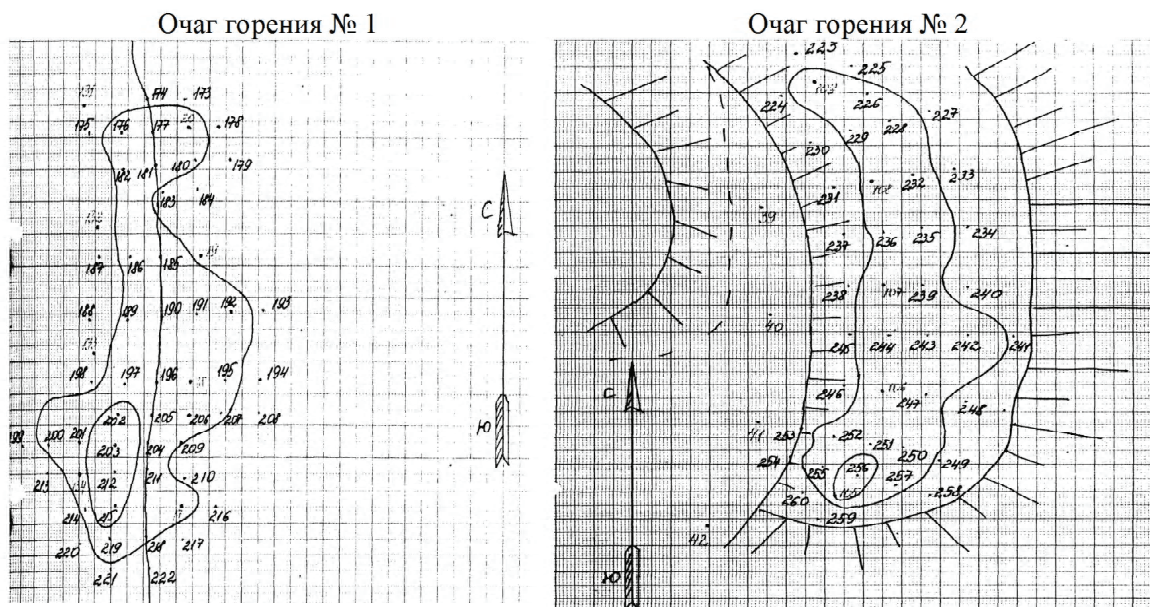


Рисунок 4 – Схема расположения очагов горения (№ 1, № 2) отвала горных пород ОП «Шахта им. М. И. Калинина» ГП «Макеевуголь» в сентябре 2012 года [4].

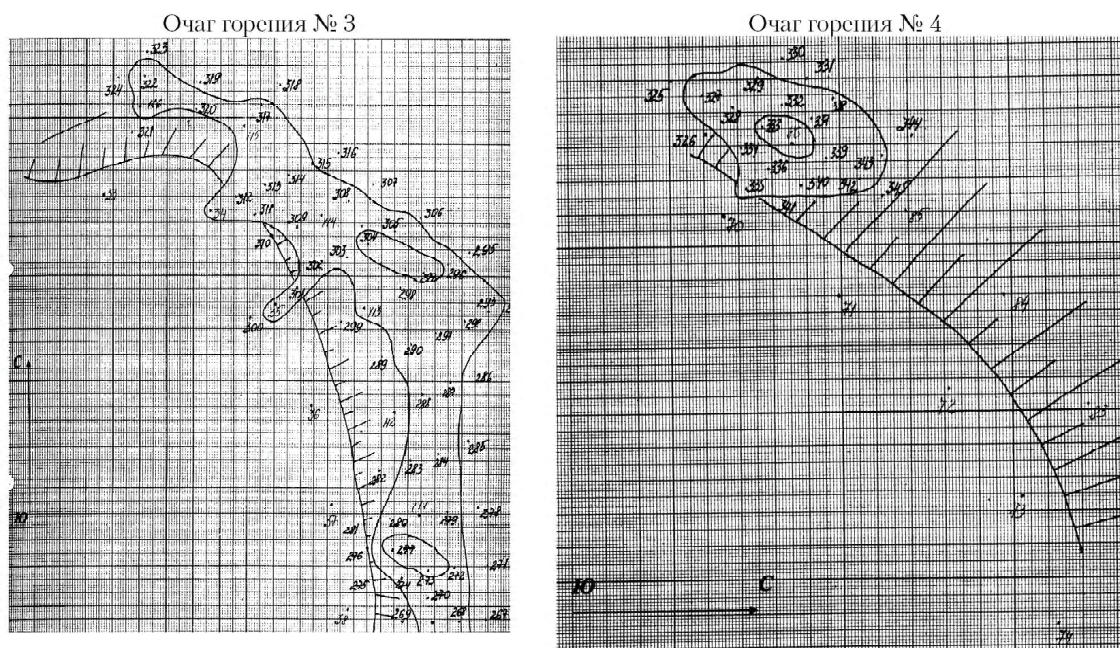


Таблица 1 – Результаты измерения температуры в очаге горения № 1

№ точки замера	176	185	190	192	201	202	203	206	211	212
Температура, измеренная в 2012 году, °С	87	108	87	85	125	311	159	80	105	156
Температура, измеренная в 2019 году, °С	48	143	83	95	154	214	106	87	78	139

Таблица 2 – Результаты измерения температуры в очаге горения № 2

№ точки замера	228	235	242	243	250	251	255	256
Температура, измеренная в 2012 году, °С	87	96	90	189	114	147	96	195
Температура, измеренная в 2019 году, °С	64	126	59	136	85	144	118	181

Таблица 3 – Результаты измерения температуры в очаге горения № 3

№ точки замера	264	273	288	291	292	297	298	304	305	313
Температура, измеренная в 2012 году, °С	96	180	110	172	144	156	105	182	90	163
Температура, измеренная в 2019 году, °С	51	164	120	176	117	161	111	145	94	142

Таблица 4 – Результаты измерения температуры в очаге горения № 4

№ точки замера	328	332	333	336	337	339
Температура, измеренная в 2012 году, °С	88	101	115	136	97	141
Температура, измеренная в 2019 году, °С	76	68	58	65	84	92

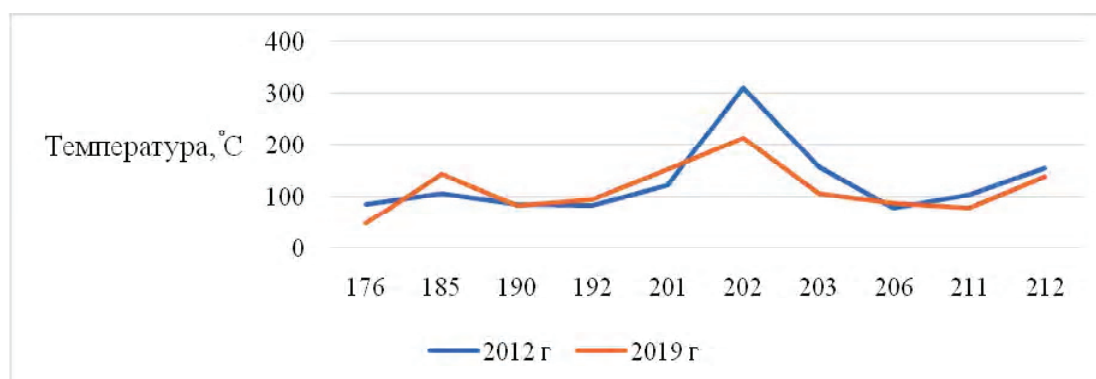


Рисунок 6 – Распределение температуры в очаге горения № 1.

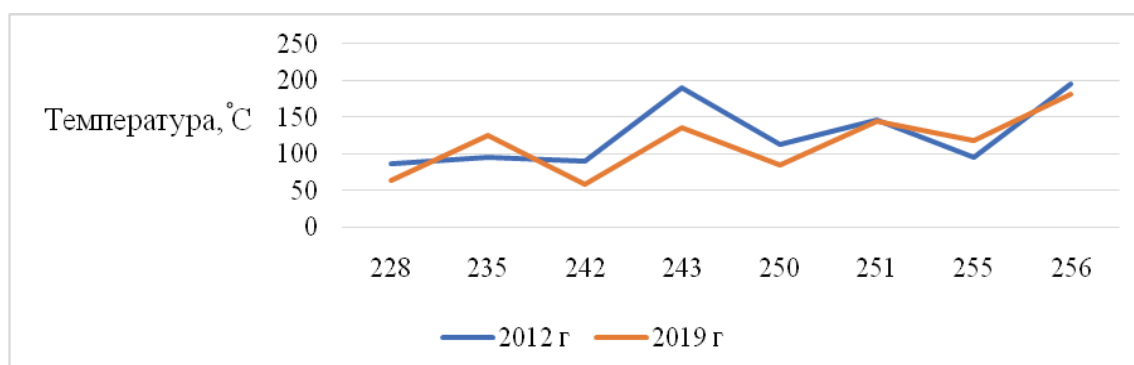


Рисунок 7 – Распределение температуры в очаге горения № 2.

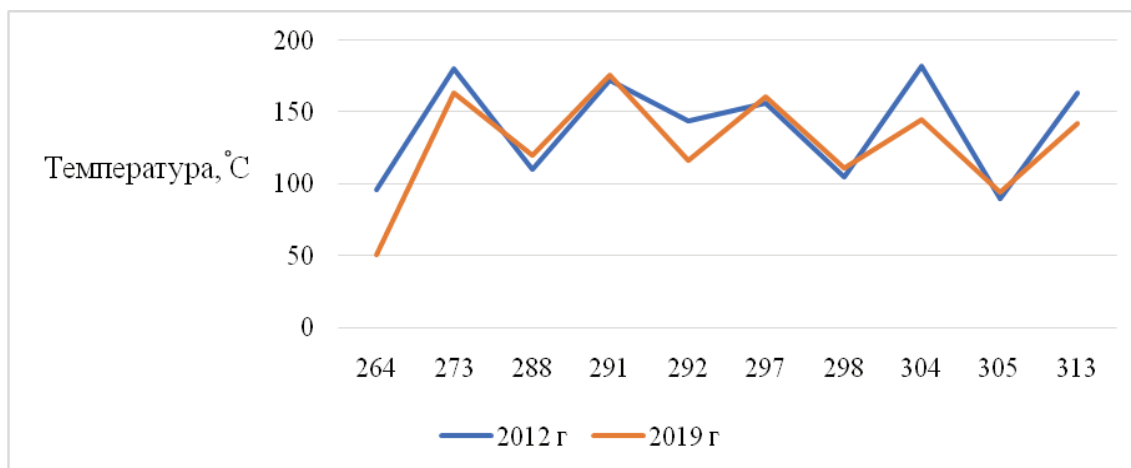


Рисунок 8 – Распределение температуры в очаге горения № 3.

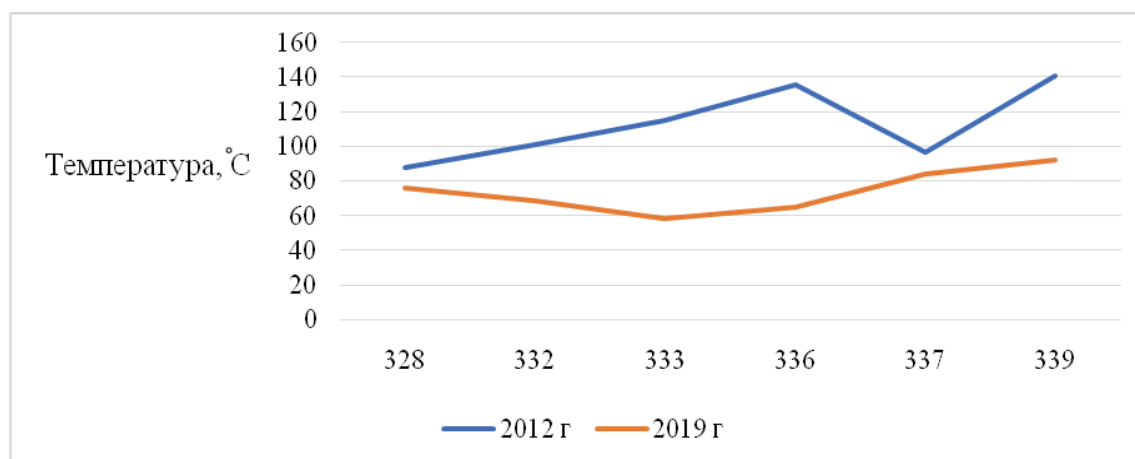


Рисунок 9 – Распределение температуры в очаге горения № 4.

ВЫВОДЫ

В результате мониторинга установлено, что количество очагов горения на отвале горных пород за временной промежуток с сентября 2012 года по сентябрь 2019 года не изменилось. В некоторых точках очагов горения, в частности очаг № 1 (точки 185, 201), очаг № 2 (точки 235, 255) наблюдается увеличение температуры, с максимальной температурой 154 °C. Отвал горных пород в настоящее время является горящим, а мероприятия по тушению, проводимые шахтой эффективны не на всей поверхности породного отвала.

Предлагаются следующие мероприятия по тушению отвала горных пород:

- предварительное выполаживание и террасирование откосов отвала;
- охлаждение поверхности очагов горения навесной струей гидромонитора;
- охлаждение глубинных пород путем подачи воды через иньекторы или скважины, обсаженные трубами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий, С. П. Мониторинг теплового состояния породных отвалов с использованием дистанционных методов контроля [Текст] / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // Вестник Академии гражданской защиты : научный журнал. – 2018. – Вып. 1(13). – С. 59–69.
2. Зборщик, М. П. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений [Текст] / М. П. Зборщик, В. В. Осокин. – Донецк : ДонГТУ, 1996. – 178 с.
3. Зборщик, М. П. Природа опасных и экологически вредных проявлений в пиритсодержащих породах [Текст] / М. П. Зборщик, В. В. Осокин // Уголь Украины. – 1998. – № 5. – С. 26–27.

4. Технический отчет о температурной съемке действующего породного отвала шахта М. И. Калинина ГП «Донецкая топливная энергетическая компания» [Текст] / ОП «Донецкое УТППОРЗ» ГП «ДУЭК». – Донецк : [б. и.], 2012. – 18 с.
5. Методические указания для проведения температурных съёмок на породных отвалах угольных шахт и обогащенных фабрик [Текст]. – Введ. 1968-01-01 / МакНИИ. – Донецк-Макеевка, 1968. – 27 с.
6. Инструкция по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов к п. 652 «Правил безопасности в угольных шахтах» [Текст] : сборник инструкций к «Правилам безопасности в угольных шахтах». – К. : Основа, 1996. – 12 с.
7. Правила безопасности в угольных шахтах [Текст]. – Введ. 2016-04-18 / Госкомитет Гортехнадзора ДНР. – Донецк : [б. и.], 2016. – 162 с.
8. Scientific and practical results of monitoring of anthropogenic influence on mining-industrial territories environment [Text] / N. M. Kachurin, S. A. Vorobev, T. V. Korchagina, R. V. Sidorov // Eurasian Mining. – 2014. – № 2. – P. 44–48.

Получено 09.10.2019

Д. О. ДОСТОВАЛОВА, М. С. ПОДГОРОДЕЦЬКИЙ
МОНІТОРИНГ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ВІДВАЛУ ГІРСЬКИХ ПОРІД ШАХТИ
ІМ. М. І. КАЛІНІНА
ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Анотація. У статті представлені результати моніторингу теплового стану діючого відвалу гірських порід шахти ім. М. І. Калініна ДП «Макіїввугілля», виконано порівняльний аналіз з даними про температурне знімання за 2012 рік, запропоновано заходи щодо гасіння відвалу гірських порід. Результати дослідження можуть бути використані для досягнення економічного ефекту від рециклінгу накопичених техногенних відходів, а також для підвищення екологічної безпеки промислових регіонів.

Ключові слова: відвал гірських порід, температурне знімання, інфрачервоний термометр, самозаймання.

DARIA DOSTOVALOVA, NICHOLAS PODGORODETSKY
MONITORING THE THERMAL STATE OF THE ROCK DUMP OF M. I. KALININ
MINE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article presents the results of monitoring the thermal state of the existing rock dump of M. I. Kalinin mine State Enterprise «Makeevugol», a comparative analysis with data on temperature surveys for 2012 was carried out, and measures for extinguishing a rock dump were proposed. The results of the study can be used to achieve the economic effect of recycling accumulated industrial waste, as well as to improve the environmental safety of industrial regions.

Key words: rock dump, temperature survey, infrared thermometer, spontaneous combustion.

Достовалова Дарья Александровна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: анализ степени возникновения риска при подземных разработках полезных ископаемых; перспективные инновационные способы газоочистки; проблемы снижения производственного травматизма, совершенствование технологии обработки шахтных вод с перспективой повторного использования воды и утилизации угольного шлама в энергетических целях.

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

Достовалова Дар'я Олександрівна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: аналіз ступеня виникнення ризику при підземних розробках корисних копалин; перспективні інноваційні способи газоочистки; проблеми зниження виробничого травматизму, вдосконалення технології обробки шахтних вод з перспективою повторного використання води та утилізації вугільного шламу в енергетичних цілях.

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

Dostovalova Daria – Master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analysis of the degree of risk in underground mining; promising innovative methods of gas treatment; problems of reducing industrial injuries, improving the technology of treatment of mine water with the prospect of re-use of water and utilization of coal sludge for energy purposes.

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

УДК 628.85

З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВИЧ, О. В. МИХАЙСКАЯ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОЦЕНКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ МИКРОКЛИМАТА ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. В статье приведен обзор отечественных и европейских норм параметров микроклимата для жилых и общественных зданий, а также рассмотрены такие способы определения комфортности микроклимата как измерение и оценка основных параметров температурно-влажностного режима помещения. Проанализированы ряд работ в области исследований, посвященных проблемам микроклимата, выявлены основные их недостатки. Значительное внимание уделено трудам М. В. Пророковой по вопросам повышения точности определения уровня комфортности помещений за счет расширения спектра параметров, учитываемых при оценке уровня комфортности микроклимата, а также анализа вредностей.

Ключевые слова: микроклимат помещений, параметры микроклимата, уровень комфортности.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее десятилетие для всего мира возросла актуальность энергосбережения и защиты окружающей среды во всех областях жизнедеятельности человека. Решение данной задачи связано не только с улучшением экологии в целом, но и с обеспечением энергетической безопасности отдельных государств. Однако реализация политики энергосбережения путем внедрения энергосберегающих мероприятий в непродуцированной сфере (зданиях жилых, общественных и административных) довольно часто приводит к снижению степени комфортности микроклимата в помещении. Результаты исследований в данной области показывают, что организация комфортного микроклимата с целью сохранения здоровья и работоспособности людей является серьезной проблемой [1], [2].

Основное влияние на формирование комфортного для жизнедеятельности человека микроклимата оказывают факторы внешней среды, планировочные решения при строительстве здания, режимы работы инженерных сетей в рассматриваемых зданиях, а также характер выполняемых работ. Особенно чувствителен организм человека к тепловым условиям и качеству воздуха в помещении.

С научной точки зрения микроклимат – это условия внутренней среды помещения, оказывающие влияние на теплообмен человека с окружающей средой; характеризуемые показателями температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, температуры окружающих человека поверхностей и интенсивности теплового (инфракрасного) облучения.

Различают допустимые и оптимальные параметры микроклимата. Оптимальные параметры микроклимата – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении. Допустимые параметры микроклимата – сочетания значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности при усиленном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывают повреждения или ухудшения состояния здоровья [3].

Обеспечение заданных показателей микроклимата с определением уровня комфортности пребывания человека в помещении является актуальной проблемой и одной из основных задач специалистов по строительной теплофизике, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха.

ЦЕЛЬ

Проанализировать особенности современного подхода к нормированию параметров микроклимата в жилых и общественных помещениях, провести оценку основных параметров температурно-влажностного режима помещения, характеризующих его тепловой комфорт.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Рассмотрим показатели микроклимата (оптимальные и допустимые) для жилых и общественных зданий, регламентируемые отечественными и зарубежными нормативными документами (табл. 1).

Таблица 1 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий

Страна (нормативный документ)	Период года	Наименование помещения или категория	Температура воздуха, °С			Результирующая температура, °С			Относительная влажность, %			Скорость движения воздуха, м/с		
			повышенно оптимальные	оптимальные	допустимые	повышенно оптимальные	оптимальные	допустимые	повышенно оптимальные	оптимальные	допустимые	повышенно оптимальные	оптимальные	допустимые
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Российская Федерация (ГОСТ 30494-2011)	ХП	жилая комната	–	20–22	18–24 (20–24)*	–	19–20	17–23 (19–23)	–	45–30	60	–	0,15	0,2
		кухня	–	19–21	18–26	–	18–20	17–25	–	нн	нн	–	0,15	0,2
		туалет	–	19–21	18–26	–	18–20	17–25	–	нн	нн	–	0,15	0,2
		ванная, санузел	–	24–26	18–26	–	23–27	17–26	–	нн	нн	–	0,15	0,2
		пом. для отдыха и уч. занятий	–	20–22	18–24	–	19–21	17–23	–	45–30	60	–	0,15	0,2
	ТП	жилая комната	–	22–25	20–28	–	22–24	18–27	–	60–30	65	–	0,2	0,3
	ХП (по категориям)	1	–	20–22	18–24	–	19–20	17–23	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		2	–	19–21	18–23	–	18–20	17–22	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		3а	–	20–21	19–23	–	19–20	19–22	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		3б	–	14–16	12–17	–	13–15	13–16	–	45–30	60	–	0,3	0,5
		3в	–	18–20	16–22	–	17–20	15–21	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		4	–	17–19	15–21	–	16–18	14–20	–	45–30	60	–	0,2	0,3
	ТП (по категориям)	пом. с пост. пребыв. людей	–	23–25	18–28	–	22–24	19–27	–	60–30	65	–	0,15	0,25
Республика Беларусь (ГОСТ 30494-96)	ХП	жилая комната	–	20–22	18–24 (20–24)	–	19–20	17–23 (19–23)	–	45–30	60	–	0,15	0,2
		кухня	–	19–21	18–26	–	18–20	17–25	–	нн	нн	–	0,15	0,2
		туалет	–	19–21	18–26	–	18–20	17–25	–	нн	нн	–	0,15	0,2
		ванная, санузел	–	24–26	18–26	–	23–27	17–26	–	нн	нн	–	0,15	0,2
		пом. для отдыха и уч. занятий	–	20–22	18–24	–	19–21	17–23	–	45–30	60	–	0,15	0,2
	ТП	жилая комната	–	22–25	20–28	–	22–24	18–27	–	60–30	65	–	0,2	0,3
	ХП (по категориям)	1	–	20–22	18–24	–	19–20	17–23	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		2	–	19–21	18–23	–	18–20	17–22	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		3а	–	20–21	19–23	–	19–20	19–22	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		3б	–	14–16	12–17	–	13–15	13–16	–	45–30	60	–	0,3	0,5
		3в	–	18–20	16–22	–	17–20	15–21	–	45–30	60	–	0,2	0,3
		4	–	17–19	15–21	–	16–18	14–20	–	45–30	60	–	0,2	0,3
	ТП (по категориям)	пом. с пост. пребыв. людей	–	23–25	18–28	–	22–24	19–27	–	60–30	65	–	0,3	0,5

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Украина, ЕС (ДСТУ Б EN 15251, ДСТУ Б EN ISO 7730)	ХП	жилые здания (стоячая деятель- ность)	–	–	–	22,0±1,0	22,0±2,0	22,0±3,0	30 – 50**	25 – 60**	25 – 70**	Не более 2,5 зависимо от степени турбулентности и местной температуры	Не более 4,5 зависимо от степени турбулентности и местной температуры	Не более 5 зависимо от степени турбулентности и местной температуры
	ТП					24,5±1,0	24,5±1,5	24,5±2,5						
	ХП	жилые здания (стояние, ходьба)	–	–	–	19,5±1,5	19,5±3,0	19,5±3,0						
	ТП					–	–	–						
	ХП	ванная	–	–	–	25,0±0,5	25,0±1,5	25,0±2,0						
	ХП	отдельный	–	–	–	22,0±1	22,0±2	22,0±3,0						
	ТП	офис	–	–	–	24,5±1,0	24,5±1,5	24,5±2,5						
	ХП	аудитория, класс	–	–	–	22,0±1	22,0±2	22,0±3,0						
	ТП					24,5±1,0	24,5±1,5	24,5±2,5						
	ХП	конференц- зал, кафетерий	–	–	–	22,0±1	22,0±2	22,0±3,0						
	ТП					24,5±1,0	24,5±1,5	24,5±2,5						

Примечания к таблице 1: ТП – теплый период; ХП – холодный период; Категории помещений: 1 категории – помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха; 2 категории – помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебной; 3 «а» категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди пребывают преимущественно в положении сидя без уличной одежды; 3 «б» категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди пребывают преимущественно в положении сидя в уличной одежде; 3 «в» категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди пребывают преимущественно в положении стоя без уличной одежды; 4 категории – помещения для занятий подвижными видами спорта; нн – показатель не нормируется; * – параметры микроклимата для помещений маломобильных групп населения; ** – при определении влажности воздуха для Украины и ЕС вводится дополнительное условие микроклимата – ограниченно допустимые, которые находятся в пределах 20...70 %.

Необходимый воздухообмен в жилых и общественных помещениях для обеспечения требуемых показателей качества воздуха обеспечивается согласно действующим нормативно-техническим документам и может быть определен двумя способами:

- на основе удельных норм воздухообмена;
- на основе расчета воздухообмена, необходимого для обеспечения допустимых концентраций загрязняющих веществ, при этом определяющим вредным веществом является углекислый газ, выделяемый людьми. Эквивалентом вредных веществ, выделяемых ограждениями, мебелью, коврами и др., принимается также углекислый газ по [4].

Проанализировав действующие в разных странах технические регламенты, можно сделать вывод, что значения показателей, приведенных в используемых на практике нормативах и стандартах, существенно расходятся, что объясняется трудностью понимания некоторых требований.

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

Наиболее распространенным в настоящее время является такой способ определения комфортности микроклимата как измерение и оценка отдельных составляющих температурно-влажностного режима помещения: температуры, подвижности, относительной влажности воздуха, а также характеристик теплового излучения [4]. Существенным недостатком данного подхода является пренебрежение взаимным влиянием параметров микроклимата друг на друга.

В области исследований, посвященных проблемам микроклимата, можно выделить ряд работ, в которых параметры, определяющие микроклимат, объединены и представлены в виде комплексных критериев. В работах И. Гриффитса и Д. Макинтейра [5] в качестве критерия комфортности микроклимата учитывается температура воздуха и падающее на человека тепловое излучение, но остаются неучтенными такие важные характеристики микроклимата, как относительная влажность, подвижность и качество воздуха.

В работах С. Х. Гейджа и Б. Харрингтона [6] учтены температура и относительная влажность воздуха, а также тепловое излучение, однако зависимости можно использовать только при подвижности воздуха 0,07...0,08 м/с.

Исследования С. Олесена, П. Фангера, О. Нильсена и П. Дженсена [7] посвящены разработке диаграмм комфортности. Основным недостатком метода является ограниченность рабочего поля подвижностью воздуха 1,5 м/с и неудобство графического определения параметров комфортности.

В. А. Максимович в работе [8] использовал понятие «критерий комфортности микроклиматических условий», которое объединяло температуру, относительную влажность, подвижность воздуха и содержание пыли. Однако данная методика была разработана для производственных помещений с большими выделениями пыли и не учитывала радиационное излучение.

М. О. Стареева и О. С. Кочетов [9] разработали шкалу комфортности параметров микроклимата для производственных помещений, но она не учитывает содержание в воздухе углекислого газа.

К основным недостаткам рассмотренных выше методов комплексной оценки комфортности микроклимата помещений следует отнести:

- специфику объектов, к которым данные способы применимы;
- ограниченность применения по одному из параметров микроклимата;
- ограниченность применения существующих методик из-за необходимости большого количества измерительных приборов для определения характеристик воздушной среды.

М. В. Пророкова впервые опубликовала свои труды по повышению точности определения уровня комфортности помещений жилых, общественных и административных зданий за счет расширения спектра параметров, учитываемых при оценке уровня комфортности микроклимата, а также анализа вредностей, характерных только для помещений жилых, общественных и административных зданий [10].

В основу метода положено определение коэффициента комфортности теплового состояния человека, основанное на расчете составляющих уравнения теплового баланса человека с введением поправок на асимметрию радиационных потоков, радиационное охлаждение и качество воздуха (содержание двуокиси углерода).

Способ оценки комфортности микроклимата заключается в измерении в помещении температуры воздуха, относительной влажности, подвижности воздуха, температуры окружающих поверхностей, предварительно определяют преимущественный тип и характеристики выполняемой работы, а также сопротивление теплопроводности преимущественного типа одежды людей, дополнительно измеряют температуру поверхности одежды человека, концентрацию диоксида углерода в воздухе обследуемого помещения и в наружном воздухе, вычисляют составляющие уравнения теплового баланса человека, рассчитывают коэффициент комфортности теплового состояния человека k_1 по формуле

$$k_1 = (q_n - q_{\phi}) / q_n, \quad (1)$$

где q_n – количество тепловой энергии, которое необходимо удалить с поверхности тела человека для обеспечения его комфортного теплового состояния при заданном типе выполняемой в помещении работы;

q_{ϕ} – количество теплоты, фактически удаляемое с поверхности тела человека, Вт/м².

Значение асимметрии радиационного излучения рассчитывают по формуле

$$\Delta t_a = t_{p,\max} - t_{p,\min}, \quad (2)$$

где $t_{p,\max}$ – максимальная температура окружающих поверхностей помещения, °С;
 $t_{p,\min}$ – минимальная температура окружающих поверхностей помещения, °С.

Определяют значение коэффициента радиационного охлаждения k_2 :

при $t_v - t_{p,\min} > 2$ вычисляют по формуле

$$k_2 = (q_n - q_{\text{л,т}}) / q_n, \quad (3)$$

где $q_{\text{л,т}}$ – лучистый тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека на самую холодную окружающую поверхность помещения;

t_v – температура воздуха в помещении, °С,

при $t_v - t_{p,\min} \leq 2$ принимают $k_2 = 1$.

Определяют значение коэффициента асимметрии радиационных потоков k_3 :

при $\Delta t_a > 3,9 + 1,8 R_0$,

где R_0 – сопротивление теплопроводности преимущественного типа одежды людей в помещении, вычисляют по формуле

$$k_3 = 1 - 0,01 \cdot (0,17\Delta t_{a2} + 0,72\Delta t_a - 2,12), \quad (4)$$

при $\Delta t_a \leq 3,9 + 1,8 R_0$ принимают $k_3 = 1$.

Рассчитывают избыточную концентрацию C диоксида углерода в помещении по формуле

$$C = C_n - C_o, \quad (5)$$

где C_n – концентрации двуокиси углерода в воздухе помещения, ppm;

C_o – концентрации двуокиси углерода в наружном воздухе, ppm.

Определяют значение коэффициента качества воздушной среды k_4 :

при $C > 400$ вычисляют по формуле:

$$k_4 = -0,00045C + 1,18, \quad (6)$$

при $C \leq 400$ принимают $k_4 = 1$.

Вычисляют уровень комфортности микроклимата по формуле (7) и оценивают уровень комфортности микроклимата по шкале приведенной в таблице 2:

Таблица 2 – Степень комфортности микроклимата

Уровень комфортности	Степень комфортности
$0 > W > -0,30$	Холодно, дискомфорт
$-0,30 \geq W > -0,65$	Прохладно, легкий дискомфорт
$0,65 \geq W > -1$	Прохладно, но комфортно
$W = \pm 1$	Комфорт
$0,65 \leq W < 1$	Тепло, но комфортно
$0,30 \leq W < 0,65$	Тепло, легкий дискомфорт
$0 < W < 0,30$	Холодно, дискомфорт

$$W = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4, \quad (7)$$

До сих пор в полной мере не учтены параметры, влияющие на микроклимат. Так для определения коэффициента комфортности K_2 не учтено количество теплоты, поступающее через светопрозрачные конструкции непосредственно на человека, и избыточные тепловыделения от предметов и оборудования.

ВЫВОДЫ

Широко известны способы определения комфортности микроклимата, включающие измерения и оценку отдельных его составляющих: температуры, подвижности, относительной влажности воздуха помещений, а также характеристик теплового излучения. Существенным недостатком данных способов является пренебрежение качеством воздуха, а также взаимным влиянием факторов микроклимата друг на друга и на организм человека.

Проведенный анализ показал необходимость комплексного учета параметров, характеризующих микроклимат при их взаимном влиянии друг на друга с учетом существенно изменившихся на сегодняшний день интерьерной обстановкой, планировкой помещений, качеством применяемых современных строительных и отделочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табунчиков, Ю. А. Микроклимат и энергосбережение: пора понять приоритеты [Электронный ресурс] / Ю. А. Табунчиков. – Режим доступа : www.homevent.ru/download/Microclimat_i_energoberejenie.pdf.
2. Пророкова, М. В. Энергосбережение и качество микроклимата [Текст] / М. В. Пророкова, В. В. Бухмиров // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 32–35.
3. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2005, IDT) [Текст]. – Уведено вперше ; чинні від 2013-01-01. – К. : Мінрегіон України, 2012. – 74 с.
4. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]. – Взамен ГОСТ 30494-96 ; введ. 2013-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 11 с.
5. Griffiths, I. D. Subjective response to overhead thermal radiation [Text] / I. D. Griffiths. D. A. McIntyre // Human Factor. – 1974. – 16y3y. – P. 415–422.

6. The influence of clothing on physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures [Text] / A. P. Gagge, C. E. A. Winslow, L. P. Harrington // Amer. J. Physiol. – 1968. – № 124. – P. 30–50.
7. Comfort limits for man exposed to asymetric thermal radiation [Text] : proc. of the CIB Commission W45 (Human requirements) Symp. Thermal Comfort and Moderate Heat stress Building Research Station / [S. Olesen et al.]. – London : Walford. – 1972. – 342 p.
8. Максимович, В. А. Критерий комфортности микроклиматических условий [Текст] / В. А. Максимович // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. – 1977. – № 6. – С. 22–23.
9. Пат. 2509322 РФ, МПК G01W1/02. Способ оценки комфортности рабочей зоны по параметрам микроклимата [Текст] / О. С. Кочетов, М. О. Стареева, М. М. Стареева ; патентообладатель Кочетов О. С., Стареева М. О., Стареева М. О. – № 2012135109/28 ; заявл. 16.08.2012 ; опубл. 10.03.2014. – Бюл. № 7. – 9 с.
10. Пат. 2636807 Российская Федерация, МПК G05D 23/19. Способ оценки комфортности рабочей микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий [Текст] / М. В. Пророкова, В. В. Бухмиров ; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина» ; заявл. 29.06.2016 ; опубл. 28.11.2017 – Бюл. № 34. – 9 с.

Получено 09.10.2019

З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВИЧ, О. В. МИХАЙСЬКА
ОЦІНКА І ВИЗНАЧЕННЯ КОМФОРТНОСТІ МІКРОКЛІМАТУ ЖИТЛОВИХ
І ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У статті наведено огляд вітчизняних і європейських норм параметрів мікроклімату для житлових і громадських будівель, а також розглянуті такі способи визначення комфортності мікроклімату як вимір і оцінка основних параметрів температурно-вологісного режиму приміщення. Проаналізовано ряд робіт в області досліджень, присвячених проблемам мікроклімату, виявлені основні їх недоліки. Значну увагу приділено працям М. В. Пророкової з питань підвищення точності визначення рівня комфортності приміщень за рахунок розширення спектра параметрів, що враховуються при оцінці рівня комфортності мікроклімату, а також аналізу шкідливостей.

Ключові слова: мікроклімат приміщень, параметри мікроклімату, рівень комфортності.

ZLATA UDOVICHENKO, DARYA SAVICH, OKSANA MIKHAISKAYA
ASSESSMENT AND DETERMINATION OF THE MICROCLIMATE COMFORT
OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS
Donbas National Academy of Construction and Architecture

Abstract. The article provides an overview of domestic and European standards for microclimate parameters for residential and public buildings, as well as such methods for determining microclimate comfort as measuring and evaluating the main parameters of the temperature and humidity room conditions. A number of works in the field of research on microclimate problems are analyzed, their main disadvantages are revealed. Considerable attention is paid to M. V. Prorokova works to improve the accuracy of determining the level of comfort of the premises by expanding the range of parameters taken into account when assessing the level of comfort of the microclimate, as well as the analysis of hazards.

Key words: indoor microclimate, microclimate parameters, comforts level.

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

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

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

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

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

Михайська Оксана Валентинівна – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

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

Savich Darya – Assistant, Ph. D. (Eng), Associate Professor, 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.

Mikhaiskaya Oksana – Assistant, Ph. D. (Eng), Associate Professor, 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.

УДК 504.054:629.3.082.4

Л. В. ЧАЙКА

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ АВТОМОЕК НА
СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДА МАКЕЕВКИ**

Аннотация. В работе показано, что структура любой урбоэкосистемы (населенные пункты, города и т. д.) включает в виде одного из основных компонентов систему автомобильного транспорта, которая представляет сеть, охватывающую и соединяющую различные функциональные зоны. Выполнен анализ негативного экологического влияния моечных отделений станций технического обслуживания (СТО) и автономно работающих автомоек на отдельные компоненты окружающей среды города Макеевки.

Ключевые слова: транспорт автомобильный, станция технического обслуживания (СТО), автомойки, загрязнение, среда окружающая, очистка сточных вод.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современная цивилизация человечества не представляет своего существования без любого вида транспорта, играющего основную роль в производственной и повседневной жизнедеятельности каждого конкретного человека и общества в целом.

Как известно, увеличение количества автомобилей соответственно сопровождается расширением инфраструктуры всей транспортной сети, так называемые транспортно-дорожные комплексы (ТДК), включающие автостанции, гаражи, стоянки, автозаправочные станции (АЗС) и СТО по обслуживанию автомобилей всех типов. Густая сеть магистральных автомобильных дорог с твердым покрытием всего земного шара превышает 11,5 млн км.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Бурный научно-технический прогресс и рост численности населения привели к увеличению потребления природных ресурсов, особенно энергоресурсов. В промышленно развитых странах доля транспорта в общем объеме потреблении энергоресурсов составляет 12...17 %, из них 50...60 % приходится на автомобильный транспорт [1, 2].

На фоне положительных морально-психологических и социально-экономических аспектов транспортные наземные, водные и воздушные линии оказывают отрицательное влияние на биосферу и вносят серьезные изменения в экологические системы, регуляцию биосферы в целом. В воздействии транспорта на окружающую среду выделяют два взаимосвязанных аспекта: потребление природных ресурсов и загрязнение. Основные виды негативного воздействия транспортного средства на окружающую среду в процессе реализации его жизненного цикла, начиная от производства черных и цветных металлов, топлив, масел и заканчивая его разрушением, схематично представлены на рисунке [3].

Анализ схемы экологического воздействия предприятий автомобильного транспорта (ПАТ) показывает, что нет ни одного компонента природной и социально-экономической подсистемы любого города, который бы не испытывал большую нагрузку и отрицательные последствия.

ЦЕЛЬ

Изучить влияние одного из объектов города Макеевки (мойки автомобильного транспорта), который связан с потреблением питьевой или технической воды, на окружающую среду и предложить

© Л. В. Чайка, 2019

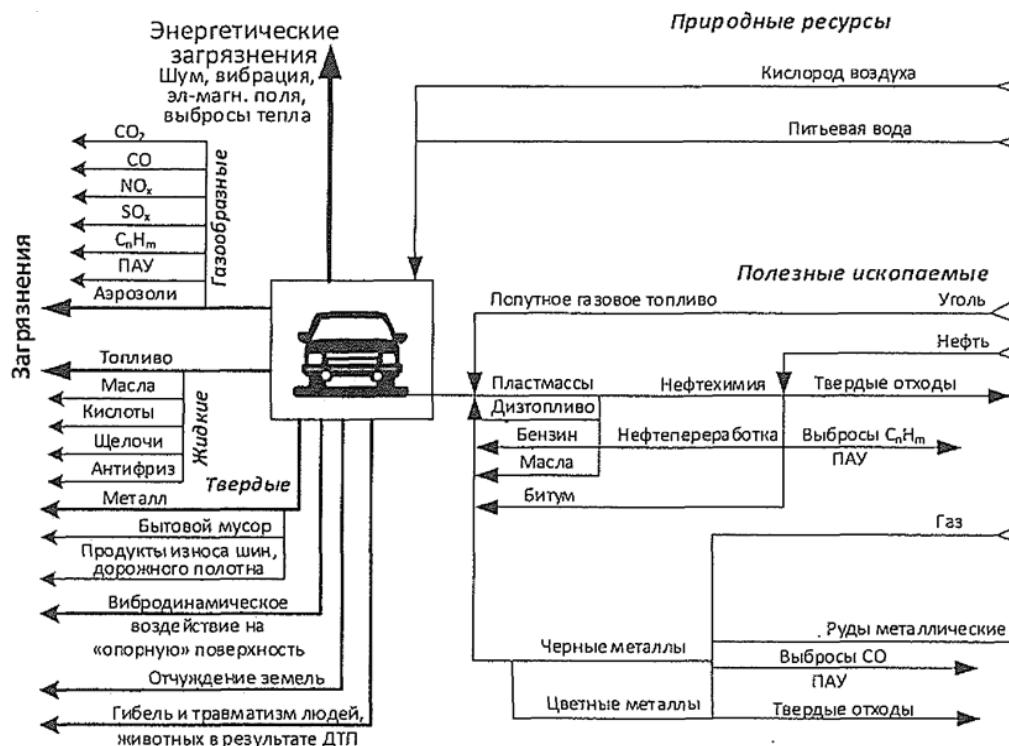


Рисунок – Виды воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду.

вариант уменьшения расхода питьевой воды и снижения содержания загрязняющих веществ в сточных водах после мойки.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В настоящее время в городе насчитывается более 100 станций технического обслуживания и зарегистрировано 45 автономных моек [4]. Следует отметить, что практически все ТДК, в том числе СТО и автомойки, относятся к объектам 4-го класса опасности, но в связи с вышеуказанными причинами, экологические последствия их производственной деятельности регулируются экологическим законодательством [5].

Сточные воды предприятий автомобильного транспорта подразделяются на:

- сточные воды от мойки автомобилей, входящие в систему оборотного водоснабжения;
- нефтесодержащие сточные воды от производственных участков;
- сточные воды, содержащие тяжелые металлы, кислоты и щелочи;
- сточные воды, содержащие краску и растворители красок;
- поверхностные сточные воды с территории.

При этом сточные воды после процесса мойки автомобилей составляют 80...85 % от общего объема производственных сточных вод. Основными загрязнителями этих вод являются взвешенные вещества (ВВ), синтетические поверхностно активные вещества (СПАВ), масла и нефтепродукты (НП). Учитывая, что последние относятся к веществам, которые с большим трудом окисляются на городских очистных сооружениях, в схеме сброса загрязненных вод в городскую канализацию должна быть предусмотрена предварительная очистка непосредственно на предприятии.

ПАТ относятся к группе предприятий, поверхностные сточные воды которых не должны содержать специфических веществ с токсичными свойствами. Вместе с тем концентрация ВВ и НП в сточных водах зависит от категории автомобиля. Так, средняя концентрация (мг/дм³) взвешенных веществ после мойки легковых автомобилей колеблется в пределах 400...600, после мойки грузовых с большой грузоподъемностью – 2 000...4 000, а концентрация нефтепродуктов соответственно: 20...40 и 50...150. Для сравнения, в дождевых водах концентрация этих загрязняющих компонентов составляет (мг/дм³): ВВ – 2000, НП – 30...70 [3].

На первый взгляд – величины сопоставимые, но если учесть тот факт, что дожди чаще всего бывают кратковременными и не круглогодичными, а среднесуточные объемы сточных вод даже на автомойках с пропускной способностью 2–10 машин могут достигать 1 000 м³/сут и больше, то становится понятным ответ, почему ТДК являются источниками ряда серьезных экологических проблем. Причем их доля в загрязнении окружающей среды растет пропорционально увеличению количества автотранспортных перевозок и числа комплексов или отдельных участков обслуживания (ремонт, мойка, покраска и т. д.) [3].

Согласно литературным данным [1, 2], в Европе в настоящее время получили развитие специализированные СТО, обслуживающие автомобили одной марки. Их доля в емкости рынка достигает 50...60 %. Они доказали свою жизнеспособность там, где есть достаточная концентрация автомобилей и где спрос реагирует на их появление. В этом случае все участки также функционируют по определенным требованиям, что относится и к отделениям моек и к автономно работающим мойкам. Кроме этого необходимо учитывать, что разные способы мойки автомобилей оказывают различную нагрузку на окружающую среду.

По способу мойки делятся на контактные и бесконтактные. По техническому оснащению выделяют ручную, порталную, туннельную мойки и мойку с помощью аппаратов высокого давления.

При контактной мойке с помощью механических инструментов очищается поверхность машин и при этом можно использовать любые моющие средства, а при незначительных загрязнениях – только воду. Основным загрязняющим компонентом при использовании этого вида услуг являются СПАВ, так как они, имея высокую пенную способность, защищают от повреждений поверхность корпуса автомобиля и упрощают процесс удаления грязи. Но с экологической точки зрения контактная мойка не является удачным выбором, поскольку требует больших затрат воды и при этом смывается лакокрасочный слой автомобиля. Лакокрасочные материалы часто бывают токсичными и многокомпонентными. В их составы, кроме соответствующих красителей, входят стабилизаторы, пленкообразующие компоненты, отвердители, могут присутствовать тяжелые металлы, усиливающие токсическое воздействие лаков и красок на природную среду.

Ручная контактная мойка, как правило, проводится обслуживающим персоналом или самостоятельно водителем автомобиля на мойках, работающих в автономном режиме. На СТО и хорошо оборудованных мойках в настоящее время используются аппараты высокого давления, позволяющие значительно уменьшить расход воды на мойку по сравнению с ручной.

В бесконтактной мойке применяются эффективные моющие средства (активная пена, шампунь), водные растворы которых смывают грязь с поверхности автомобилей с помощью аппаратов высокого давления. Этот вид мойки относится не только к наиболее безопасным для лакокрасочного покрытия, но и является более экологически безопасным, поскольку предотвращает попадание тяжелых металлов и других компонентов-загрязнителей в окружающую среду.

В то же время нарушение этих технологий, например, использование некачественных моющих средств, растирание пены с помощью губки или тряпки, с одной стороны, не обеспечивает выполнение экологических требований, а с другой, опасно для здоровья работников, так как в состав активной пены входят различные кислоты и щелочные соединения, раздражающие поверхность кожи.

Портальная мойка (портал) – это автоматическая установка, похожая на арку, которая движется вдоль автомобиля, пока он стоит, и удаляет с него грязь. Различают контактные и бесконтактные порталные мойки. В бесконтактных порталных мойках не используются вращающиеся щетки, вместо этого установлены аппараты высокого давления. Основным плюсом порталной мойки является скорость мойки [3].

Туннельная автомойка (конвейерная) представляет собой туннель с несколькими неподвижными арками, каждая из которых выполняет свою функцию: щеточная станция, станция полировки, станция форсунок высокого давления и т. д. Сквозь туннельную мойку автомобиль протягивает лента конвейера, пропуская через различные моющие агрегаты. На выходе получается чистый, практически сухой автомобиль за очень короткое время, так как пропускная способность таких автомоек достигает 120 авто/час.

Новой разработкой в области автохимии и автокосметики является сухая автомойка или химическая мойка. В этом случае для мытья машины не требуется жидкая вода, а используется специальное химическое моющее средство. В результате на лакокрасочном покрытии автомобиля образуется защитная пленка, обладающая антикоррозионными свойствами и эффектом «антидождя», уменьшающем налипание грязи.

Химические автомойки имеют свои преимущества как для клиента, так и для окружающей среды: во-первых, помогают экономить время клиента, а во-вторых, позволяют экономить до 100 дм³ воды на мытье каждой машины, и при этом степень биоразложения используемых химических средств достигает 90..100 %. Такие автомойки называют «экомойками» [3].

К сожалению, на территории Макеевки экомойки отсутствуют, туннельные мойки в единичном исполнении наблюдаются только на крупных СТО, а схемы предварительной очистки сточных вод работают не всегда эффективно, поэтому в городскую канализацию поступают загрязнители, затрудняющие процесс очистки на канализационных очистных сооружениях Макеевского ПУВКХ. Следует констатировать, что в статистических отчетах Донецкой Народной Республики (ДНР, Республика) отсутствуют данные по выбросам загрязняющих веществ, составу сточных вод, обращению с твердыми бытовыми отходами на АЗС, СТО, автономных участках ремонта, покраски и мойки автотранспорта [4].

В процессе исследования влияния СТО на окружающую среду города Макеевки были получены данные от одной из автотранспортных моек, предоставляющей такие услуги населению как химчистка кресел, полировка оптики и декоративных вставок, мойка автомобилей и др. Основная часть сточных вод предприятия (85..90 %) образуется в процессе мойки автомобилей. Их химический анализ выполняется в лаборатории экологического мониторинга после системы очистных сооружений, но результаты представляют определенную секретность.

На основании Закона ДНР «Об охране окружающей природной среды» [5] все предприятия, оказывающие на окружающую среду негативное воздействие, обязаны платить экологические платежи. К таким предприятиям относятся все автопредприятия транспортно-дорожного комплекса. В Республике насчитывается более трех тысяч предприятий, обслуживающих автотранспорт, из них услугами моек занимается пятая часть, т. е. более шестисот предприятий, в Макеевке этот показатель достигает почти 50 %.

Проведенный качественный анализ негативного влияния «моечной» услуги в общем объеме услуг ТДК на санитарно-экологическое состояние окружающей среды показывает, что при внешне положительных аспектах для пользователей проблема требует серьезных изменений. Необходимо не только переходить на современные способы непосредственно мойки автомашин, но в условиях создавшейся ситуации назрела необходимость внедрения новых эффективных методов предварительной очистки сточных вод и сокращения исходных объемов питьевой воды. В этом случае целесообразно рекомендовать схемы оборотного водоснабжения в виде локальных очистных сооружений, позволяющих многократно использовать очищенную воду в производственных процессах, поскольку степень очистки по всем загрязняющим компонентам может достигать 97..99 % [6, 7].

Для определения эколого-экономической целесообразности внедрения предлагаемых мероприятий были выполнены расчеты по объему возврата очищенной воды и сделаны выводы по величине возможного предотвращенного экологического ущерба.

Исходными данными для расчета годового расхода потребляемой воды на вышеуказанной мойке города являются:

- на мойке в производственном процессе задействованы 3 блока;
- пропускная способность одного блока мойки – 4 ед./ч;
- продолжительность рабочего дня – 8 ч/сут;
- средний объем расхода воды на мойку автомобиля – 150 дм³/ед.

Для определения годового расхода воды V_r (H₂O) была использована формула:

$$V_r (H_2O) = V_n \cdot K \cdot N \cdot T \cdot 332, \quad (1)$$

где V_n – средний объем расхода воды на мойку автомобиля, дм³/ед. ($V_n = 150$ дм³/ед.);
 K – количество работающих блоков, шт., ($K = 3$ шт.);
 N – пропускная способность одного блока, ед./ч, ($N = 4$ ед./ч);
 T – продолжительность рабочего дня, ч/сут, ($T = 8$ ч/сут);
 332 – среднегодовое число рабочих дней, дн./год.

$$V_r (H_2O) = 3 \cdot 150 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 332 = 4\,780\,800 \text{ дм}^3/\text{год} \approx 4\,781 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Годовые затраты рассматриваемой СТО за водопотребление питьевой воды КП «Вода Донбасса» по цене 27 рос. руб., составляют сумму около 130 тыс. рос. рублей.

Сумма ежегодного экологического налога за сброс очищенных сточных вод (по данным предприятия) сравнительно невелика и составляет приблизительно 8..9 тыс. рос. руб., т. е. общие затраты достигают 140 тыс. рос. руб.

Следует отметить, что в среднем число работающих блоков и пропускная способность на СТО и автономных мойках в Макеевке гораздо больше [4]. Естественно и годовые объемы сбрасываемых, зачастую недоочищенных сточных вод, в городскую канализацию, а иногда и в овраги балок, достигают 1...2 млн м³ по городу.

ВЫВОДЫ

Таким образом, введение предлагаемых мероприятий позволит СТО и автономным мойкам автомашин сократить свои расходы за водопотребление питьевой воды и снизить сумму ежегодного налога. Положительными результатами для города будут, с одной стороны, сокращение объемов питьевой воды на производственные нужды и повышение качества очистки сточных вод на канализационных очистных сооружениях Макеевского ПУВКХ, а с другой, улучшение экологического состояния водных объектов города Макеевки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Powdered versus granular carbon for oil rafmery wastewater treatment [Text] / C. G. Grieves, L. W. Crame, D. G. Verandos, Wei-Chi-Ying // Water Pollution Control Federation. – 1980. – № 3. – P. 483–497.
2. Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams [Text] / C. D. Woolard, J. Strong, C. R. Erasmus // Applied Geochemistry. – 2002. – V. 17. – № 8. – P. 1159–1164.
3. Охрана окружающей среды в транспортной отрасли [Текст] : учебное пособие / В. Д. Катин, Л. П. Майорова, В. П. Тищенко, [науч. ред. Л. П. Майорова]. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 195 с.
4. Администрация города Макеевки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://stop-terror.com.ua/structure/category/administraciya-goroda-makeevki>.
5. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : закон № 38 – ІНС от 30.04.2015 г. [Текст] / Принят Постановлением Народного Совета (с изменениями, внесенными Законом от 21.06.2019 г. № 43 – ІНС) – 71 с. – Режим доступа : <https://dnrsovet.su/zakon-dnr-ob-ohrane-okr-sredy/>.
6. Марков, А. Д. Станции технического обслуживания автомобилей [Текст] / А. Д. Марков. – К. : Кондор, 2008. – 536 с.
7. Даутова, С. Н. Очистка сточных вод автомойки с оборотным водоснабжением [Текст] / С. Н. Даутова // Вестник магистратуры. – 2013. – № 5(20). – С. 24–26.

Получено 06.10.2019

Л. В. ЧАЙКА

АНАЛІЗ ПРИЧИН НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ АВТОМІЙОК НА СТАН
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА МАКІЇВКИ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі показано, що структура будь-якої урбоєкосистеми (населені пункти, міста тощо) включає у вигляді одного з основних компонентів системи автомобільного транспорту, котра представляє мережу, що охоплює та з'єднує функціональні зони. Виконано аналіз негативного екологічного впливу мийочних відділень станцій технічного обслуговування (СТО) і мийок, що функціонують автономно, на окремі компоненти навколишнього середовища міста Макіївки.

Ключові слова: транспорт автомобільний, станції технічного обслуговування (СТО), автомийки, забруднення, середовище навколишнє, очистка стічних вод.

LYUDMILA CHAYKA

THE REASONS ANALYSIS OF THE NEGATIVE ECOLOGICAL IMPACT OF
CARWASHES ON THE ENVIRONMENTAL CONDITION OF MAKEYEVKA
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper deals with that the structure of any urban ecological system (settlements, cities, etc.) includes as one of the main elements the system of automobile transport which is represented by a network embracing and connecting different functional zones. The analysis is made of the negative ecological impact of washing sections of auto service companies and independently working carwashes on separate elements of Makeyevka environment.

Key words: automobile transport, auto service company, carwashes, contamination, environment, wastewater treatment.

Чайка Людмила Викторовна – кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование влияния техногенно-антропогенных факторов на компоненты окружающей среды урбоэкосистем (города и другие населенные пункты).

Чайка Людмила Вікторівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження впливу техногенно-антропогенних факторів на компоненти навколишнього середовища (міста та інші населені пункти).

Chayka Lyudmila – Ph. D. (Chemical Sciences), Assistant Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: investigation of the influence of technogenic and anthropogenous factors on the elements of the surrounding environment of the urban ecological systems (cities and other settlements).

УДК 628.316.12: 628.316.13

М. М. РИПНАЯ, А. И. СЕРДЮК

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСАДИТЕЛЕЙ НА ОСАЖДЕНИЕ СВИНЦА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Изучено поведение различных реагентов для осаждения свинца из сточных вод. Показано, что для полного осаждения свинца необходимо превышение количества осадителя по сравнению с теоретическим, которое зависит от вида реагента и концентрации свинца в растворе. Выведено уравнение, связывающее превышение объема осадителя от концентрации борфтористоводородного электролита в водных растворах. Показано, что проведение процесса осаждения при pH раствора около 9,5...10,0 обеспечивает полное осаждение свинца из раствора и показывает превышение реагента-осадителя по сравнению с теоретическим. Это дает возможность применять эти показатели на практике для очистки сточных вод от соединений свинца.

Ключевые слова: осадитель, свинец, очистка, борфтористоводородный электролит, сточные воды.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Гальваническое производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды, главным образом поверхностных и подземных водоемов, ввиду образования большого объема сточных вод, содержащих вредные примеси тяжелых металлов, неорганических кислот и щелочей, поверхностно-активных веществ и других высокотоксичных соединений, а также большого количества твердых отходов, особенно от реагентного способа обезвреживания сточных вод, содержащих тяжелые металлы в малорастворимой форме.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

К тяжелым металлам, содержащимся в промывочных водах, относят свинец. Он может присутствовать в воде в растворимой форме в виде простых или комплексных ионов. В нерастворимой форме он встречается в виде сульфида, карбоната, гидроксида и сульфата [1].

В зависимости от состава неорганических примесей и их концентрации в сточных водах применяют различные методы очистки, такие, как реагентные, ионообменные, электрохимические, электролизные, ультрафильтрационные, обратный осмос, термические и т. д. Существующие методы очистки от ионов тяжелых металлов отличаются низкой эффективностью, требуют больших расходов реагентов, энергии и часто приводят к образованию побочных продуктов [2].

В настоящее время при очистке сточных вод, содержащих тяжелые металлы, наибольшее распространение получил реагентный метод.

Нейтрализацию промстоков проводят с помощью добавок различных реагентов: растворов кислот и щелочей, негашеной (CaO) и гашеной (Ca(OH)₂) извести, кустической соды (NaOH), кальцинированной соды Na₂CO₃, аммиака (NH₃OH), отходов производств, например известково-карбонатного шлама и др. [3].

Указано, что свинец является амфотерным металлом, т. е. может растворяться как в кислых, так и в щелочных средах. В работе [4] показано, что минимальная концентрация свинца при химическом осаждении наблюдается при pH = 9,5. В источнике [5] указано, что такому металлу как свинец, требуется более высокий pH в диапазоне от 10 до 10,5 для эффективного осаждения гидроксида.

Началу выпадения в осадок гидроксида свинца соответствует $pH = 6,0$. Избыток реагента может повышать pH и приводить к большей концентрации свинца в растворе по сравнению с минимальной концентрацией при pH равной 9,5...10,5.

Известно, что реагент-осадитель должен быть взят в избытке по сравнению с расчетным количеством [6]. Однако не ясно, какой избыток реагента необходимо использовать.

ЦЕЛЬ

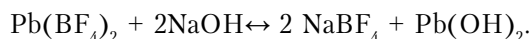
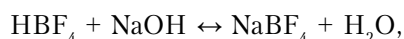
Изучение влияния состава и количества таких осадителей свинца, как гидроксид натрия ($NaOH$), карбонат натрия (Na_2CO_3), карбонат калия (K_2CO_3), гидроксид кальция ($Ca(OH)_2$), сульфид натрия (Na_2S), карбонат аммония ($(NH_4)_2CO_3$) в зависимости от концентрации свинца в растворе.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Определение концентрации остаточного свинца в растворе проводили согласно методике [7]. Измерения проводили фотоколориметрическим методом на фотоэлектроколориметре КФК-2, основанном на взаимодействии иона свинца с сульфарсазеном с образованием комплексного соединения, окрашенного в желто-оранжевый цвет.

Проводили осаждение свинца из водного раствора следующими осадителями $NaOH$, $Ca(OH)_2$, Na_2CO_3 , K_2CO_3 , $(NH_4)_2CO_3$, Na_2S .

Наименьшая концентрация соли свинца при осаждении наблюдается при pH близкой к 9,5...10,5. При меньших значениях pH раствора растворимость солей свинца увеличивается за счет образования его солей с кислотами, при больших значениях pH растворимость солей свинца увеличивается за счет образования его солей с основаниями. Это говорит о том, что для наименьшей концентрации солей свинца в растворе необходимо поддерживать значение pH раствора близкое к 10. Для получения такого значения pH использовали кислотно-основное титрование электролита, содержащего борфтористоводородную кислоту и ее свинцовую соль выше приведенными осадителями в присутствии индикатора фенолфталеина с pH перехода окраски в интервале 8,2–10,0 из бесцветной в красную. Так как титрование проводили раствором щелочи до появления интенсивного малиново-красного окрашивания, то pH раствора после титрования будет составлять около 9,5...10. При нейтрализации борфтористоводородной кислоты и ее свинцовой соли $NaOH$ будут проходить следующие реакции:



С уменьшением концентрации электролитов (HBF_4 и $Pb(BF_4)_2$) в выше указанных реакциях равновесие реакции будет смещаться влево в сторону образования исходных продуктов. Поэтому для сдвига равновесия вправо необходимо повышать концентрацию осадителя по сравнению со стехиометрической. Установлено, что по мере уменьшения концентрации свинца в растворе избыток осадителя увеличивается (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость превышения объема $NaOH$, потраченного на нейтрализацию, от суммарной исходной концентрации борфтористоводородной кислоты и ее свинцовой соли в растворах

$\sum C_{HBF_4} + C_{Pb(BF_4)_2},$ C, мг-экв/л	$lg \sum (C_{HBF_4} + C_{Pb(BF_4)_2}),$ C, мг-экв/л	Осадитель									
		NaOH		Na ₂ CO ₃		K ₂ CO ₃		Ca(OH) ₂		Na ₂ S	
		$\Delta V/V$	$lg(\Delta V/V)$	$\Delta V/V$	$lg(\Delta V/V)$	$\Delta V/V$	$lg(\Delta V/V)$	$\Delta V/V$	$lg(\Delta V/V)$	$\Delta V/V$	$lg(\Delta V/V)$
4,3	0,63	4,7	0,67	11,60	1,06	32,5	1,5	20,9	1,32	19,3	1,29
5,0	0,69	4,47	0,65	13,20	1,12	33,1	1,52	22,9	1,36	19,9	1,3
8,6	0,93	4,27	0,63	7,40	0,87	20,4	1,31	12,6	1,1	11,2	1,05
18,0	1,26	4,17	0,62	6,46	0,81	19,9	1,3	10,0	1,0	7,9	0,9
32,0	1,51	3,72	0,57	3,20	0,50	11,2	1,05	5,01	0,70	5,6	0,75
70,0	1,85	3,47	0,54	2,70	0,43	7,6	0,88	3,4	0,53	3,9	0,59

Показано, что эта зависимость выравнивается в двойных логарифмических координатах и описывается уравнением с хорошим коэффициентом корреляции (R_2) равным 0,97 (рис. 1):

$$\Delta V / V = 10^{(-0,68lgC_1 + 1,78)}, \quad (1)$$

где V – объем раствора NaOH, который необходим для нейтрализации HBF_4 и $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$;
 ΔV – разница между фактическим объемом раствора NaOH, израсходованного на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли, и рассчитанным по реакциям.

Аналогичным образом получены уравнения при титровании HBF_4 и $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 , K_2CO_3 , Na_2S .

Зависимость превышения объема $\Delta V/V$ для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ имеет следующий вид:

$$\Delta V / V = 10^{(-0,11\lg C_i + 0,73)}, \quad (2)$$

где V – объем раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который необходим для нейтрализации HBF_4 и $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$;
 ΔV – разница между фактическим объемом раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$, израсходованного на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли.

Зависимость превышения объема $\Delta V/V$ для Na_2CO_3 имеет следующий вид:

$$\Delta V / V = 10^{(-0,57\lg C_i + 1,45)}, \quad (3)$$

где V – объем раствора Na_2CO_3 , который необходим для нейтрализации HBF_4 и $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$;
 ΔV – разница между фактическим объемом раствора Na_2CO_3 , израсходованного на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли.

Зависимость превышения объема $\Delta V / V$ для Na_2S имеет следующий вид:

$$\Delta V / V = 10^{(-0,59\lg C_i + 1,66)}, \quad (4)$$

где V – объем раствора Na_2S , который необходим для нейтрализации HBF_4 и $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$;
 ΔV – разница между фактическим объемом раствора Na_2S , израсходованного на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли.

Зависимость превышения объема $\Delta V / V$ для K_2CO_3 имеет следующий вид:

$$\Delta V / V = 10^{(-0,51\lg C_i + 1,84)}, \quad (5)$$

где V – объем раствора K_2CO_3 , который необходим для нейтрализации HBF_4 и $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$;
 ΔV – разница между фактическим объемом раствора K_2CO_3 , израсходованного на нейтрализацию кислоты и свинцовой соли.

В табл. 1 и на рисунке приведена зависимость превышения объема титрования от концентрации борфтористоводородного электролита в растворах.

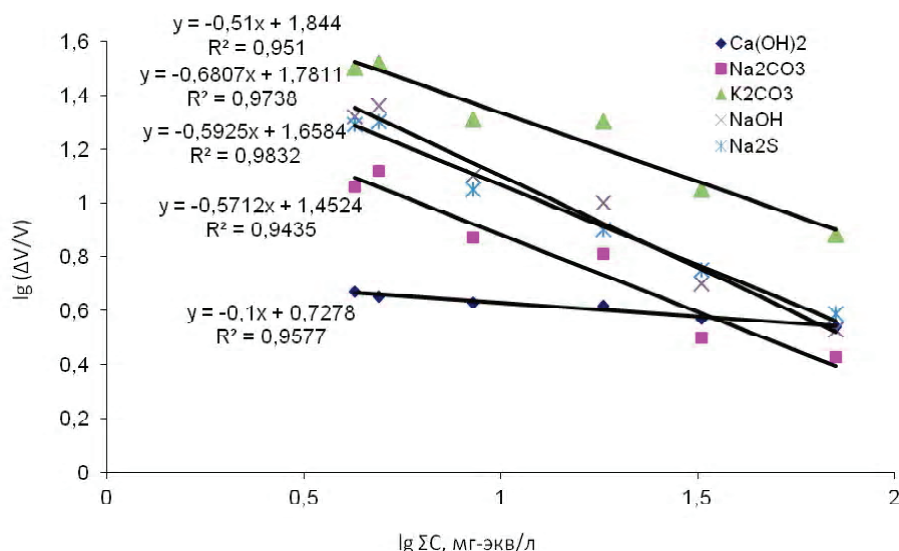


Рисунок – Зависимость превышения объема осадителя от концентрации электролита в растворе.

Показано, что превышение объема осадителя на титрование электролита повышается с уменьшением концентрации электролита в воде. Следует отметить, что наибольший избыток реагента наблюдается для K_2CO_3 по сравнению с Na_2CO_3 в 2,2–6,9 раз и для $Ca(OH)_2$ по сравнению с $NaOH$ в 1,0–4,4 раза. Это объясняется тем, что раствор Na_2CO_3 обеспечивает более сильное повышение pH по сравнению с K_2CO_3 , $NaOH$ является более сильным основанием по сравнению с $Ca(OH)_2$. Добавка к кислоте и ее свинцовой соли $(NH_4)_2CO_3$ не позволяет достичь $pH = 10$, т. к. NH_4OH является очень слабым основанием. По-видимому, этим можно объяснить, что в этом случае не наблюдается осаждение свинца из раствора.

Исходя из произведения растворимости (ПР) гидроксида свинца, карбоната свинца и сульфида свинца (табл. 2) видно, что наименьшая концентрация свинца в растворе будет наблюдаться при использовании в качестве осадителя сульфида натрия. Значение долей предельнодопустимой концентрации (дПДК = $C_{св}/ПДК$) для гидроксида и карбоната свинца рассчитывали исходя из концентрации свинца, полученной экспериментально, а для сульфида свинца использовали концентрацию, рассчитанную из ПР этого соединения. Только при использовании сульфида натрия в качестве осадителя свинца из раствора концентрация свинца в растворе становится ниже ПДК ($ПДК_{св} = 0,01 \text{ мг/дм}^3$) [8].

Таблица 2 – ПР для различных соединений свинца

Соединение	ПР [9, 10, 11]	Концентрация свинца, рассчитанная исходя из ПР, мг/ дм ³	Концентрация свинца, полученная экспериментально, мг/ дм ³	Концентрация свинца, полученная экспериментально, в долях ПДК
$Pb(OH)_2$	$2,8 \cdot 10^{-16}$ $7,9 \cdot 10^{-16}$	1,34 1,86	1,20	40
$PbCO_3$	$1,5 \cdot 10^{-13}$ $7,5 \cdot 10^{-14}$	0,08 0,056	0,50	17
PbS	$3,4 \cdot 10^{-28}$ $2,5 \cdot 10^{-27}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$ $3,3 \cdot 10^{-8}$	–	$1 \cdot 10^{-7}$ $1 \cdot 10^{-6}$

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведение процесса осаждения при pH раствора около 9,5...10 обеспечивает полное осаждение свинца из раствора и показывает превышение реагента-осадителя по сравнению с теоретическим. Это дает возможность применять эти показатели на практике для очистки сточных вод от соединений свинца. Показано, что только использованием сульфида натрия достигается очистка сточных вод от свинца с концентрацией ниже ПДК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мур, Дж. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния [Текст] : пер. с англ. / Дж. Мур, С. Рамамурти. – М. : Мир, 1987. – 288 с.
2. Долина, Л. Ф. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных и природных вод [Текст] / Л. Ф. Долина. – Д. : Континент, 2003. – 218 с.
3. Ляликов, Ю. С. Теоретические основы современного качественного анализа [Текст] : монография / Ю. С. Ляликов, Ю. А. Клячко. – М. : Химия, 1978. – 312 с.
4. Bernard, C. A. The Science of Treating Acid Mine Drainage and Smelter Effluents [Electronic resource] / C. A. Bernard // ResearchGate. – 2004. – P. 45–48. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/237245796_The_Science_of_Treating_Acid_Mine_Drainage_and_Smelter_Effluents.
5. Removal of Heavy Metals from Automotive Wastewater by Sulfide Precipitation [Text] / B. R. Kim, W. A. Gaines, M. J. Szafranski, E. F. Bernath // Journal of Environmental Engineering. – 2002. – Vol. 128. – P. 184.
6. Вассерман, И. М. Химическое осаждение из растворов [Текст] / И. М. Вассерман. – Л. : Химия, 1998. – 134 с.
7. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе [Текст] / Е. Г. Иванюк, М. Д. Бабина, В. Г. Овечкин. – М. : Минздрав СССР, 1979. – 25 с.
8. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Текст]. – Взамен ГН 2.1.5.689-98 ; введ. 2003-06-15 / НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН и др. М. : Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2003. – 24 с.
9. Справочник по растворимости [Текст] / В. Б. Коган, В. Н. Фридман, В. В. Кафаров и др. – Т. 1, книга 1: двойные системы. – М.-Л. : АН СССР, 1961. – 960 с.
10. Барковский, Е. В. Аналитическая химия [Текст] : учеб. пособие / Е. В. Барковский, С. В. Ткачев. – Мн. : Выш. шк., 2004. – 351 с.

11. Новый справочник химика и технолога. Основные свойства неорганических, органических и элементоорганических соединений [Текст] / Под ред. Н. К. Скворцова. – СПб. : АНО НПО «Мир и семья», 2002. – 1280 с.

Получено 03.10.2019

М. М. РІПНА, О. І. СЕРДЮК
ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ОСАДЖУВАЧІВ НА ОСАДЖЕННЯ СВИНЦЮ ЗІ
СТІЧНИХ ВОД
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Вивчено поведінку різних реагентів для осадження свинцю зі стічних вод. Показано, що для повного осадження свинцю необхідно перевищення кількості осаджувача в порівнянні з теоретичним, яке залежить від виду реагенту і концентрації свинцю в розчині. Виведено рівняння, що зв'язує перевищення об'єму осаджувача від концентрації борфтористоводневого електроліту в водних розчинах. Показано, що проведення процесу осадження при рН розчину близько 9,5...10,0 забезпечує повне осадження свинцю із розчину і показує перевищення реагенту-осаджувача в порівнянні з теоретичним. Це дає можливість застосовувати ці показники на практиці для очищення стічних вод від сполук свинцю.

Ключові слова: осаджувач, свинець, очищення, борфтористоводневий електроліт, стічні води.

MARGARITA RIPNA, ALEXANDER SERDYUK
THE STUDY OF THE PRECIPITATING EFFECT ON THE LEAD DEPOSITION
FROM WASTE WATER
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The behavior of various reagents for the deposition of lead from wastewater was studied. It was shown that for the complete deposition of lead, an excess of the amount of precipitant is necessary compared with the theoretical one, which depends on the type of reagent and the concentration of lead in the solution. Equations are derived that relate the excess of precipitant volume from the concentration of hydrofluoride electrolyte in aqueous solutions. It was shown that the deposition process at a solution pH of about 9.5-10 ensures complete deposition of lead from the solution and shows an excess of the precipitating reagent when compared to theoretical. This makes it possible to apply these indicators in practice for wastewater treatment from lead compounds.

Key words: precipitant, lead, purification, hydrogenfluoride electrolyte, wastewater.

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

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

Ріпна Маргарита Маратівна – асистент кафедри техносферної безпеки ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: переробка та утилізація промислових відходів.

Сердюк Олександр Іванович – доктор хімічних наук, професор кафедри техносферної безпеки ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: розробка фізико-хімічних основ переробки промислових відходів.

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

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

УДК 697.34

Н. В. ДОЛГОВ, Д. В. ВЫБОРНОВ, З. В. УДОВИЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО
ИСТОЧНИКА ТЕПЛА С ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОМ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Аннотация. Проведен анализ исследований ведущих ученых с целью определения рациональной методики построения моделей изменения нагрузки систем горячего водоснабжения в течение суток для различных видов потребителей тепловой энергии, в частности для потребителей жилых и общественных зданий. Предложена принципиальная схема горячего водоснабжения с комбинированным источником теплоты на базе гелиоколлектора. Для исследования потокораспределения в предложенной схеме использовался метод контурных расходов (МКР) – аналог известного метода контурных токов для расчета линейных электрических цепей в сочетании с методом Ньютона для решения системы нелинейных алгебраических уравнений. На основании предложенной схемы была разработана орг-граф схема распределения потоков с указанием направления их движения, участков и узлов. Разработана математическая модель потокораспределения контурных расходов в предложенной схеме ГВС с комбинированным источником теплоты, позволяющая определить степень открытия и пределы регулирования балансировочной и регуливающей арматуры в разных режимах работы солнечного коллектора. Использование результатов математического моделирования предложенной схемы дает возможность экономно расходовать теплоноситель, получать более комфортные параметры микроклимата в обслуживаемых помещениях, а также снизить время отклика системы на регулирование того или иного параметра.

Ключевые слова: горячее водоснабжение, комбинированный источник теплоты, гелиоколлектор, потокораспределение, метод контурных расходов, микроклимат.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

На сегодняшний день широкое распространение как среди специалистов строительного профиля, так и среди широких слоев населения получили идеи улучшения изоляционных свойств тепловой оболочки зданий и характеристик внутренних и внешних инженерных сетей. Кроме того, продолжается интенсивная разработка новых строительных норм и стандартов, что на законодательном уровне будет способствовать углублению идей энергоэффективности в проектировании конструктивных и инженерных систем зданий и сооружений по европейскому образцу.

Использование ископаемых источников энергии, представленных в виде газа и нефти, приводит к загрязнению окружающей среды. Решением данной проблемы является задействование высокотехнологичных инновационных решений, которые бы использовали безграничные запасы энергии, находящиеся вокруг нас. Это такие виды энергии, как солнечная, геотермальная и вся энергия окружающей среды.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Научной базой для проведения исследований являются работы В. Н. Богословского, Л. Банхиди, Ф. А. Миссенара, Л. В. Павлухина, Л. А. Гвозденко, Ф. Шлейфмана, В. А. Хасилев, А. П. Меренкова, А. Г. Батухина и других ученых.

ЦЕЛИ

Разработка математической модели комбинированного источника тепла для системы горячего водоснабжения.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для построения моделей изменения нагрузки систем горячего водоснабжения (ГВС) в течение суток для различных видов потребителей тепловой энергии можно воспользоваться методикой [1, 2]. При этом исходным при рассмотрении работы потребителя тепла по нагрузке ГВС необходимо принять разделение потребителей на две категории: жилые и административные здания. Общий вид графика нагрузки ГВС для зданий в течение суток представлен на рисунках 1–2.

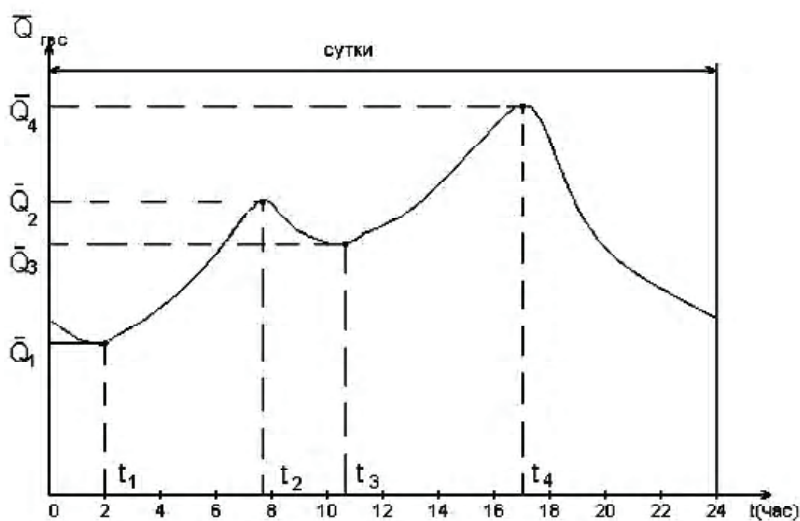


Рисунок 1 – Суточный график нагрузки ГВС жилых зданий [1].

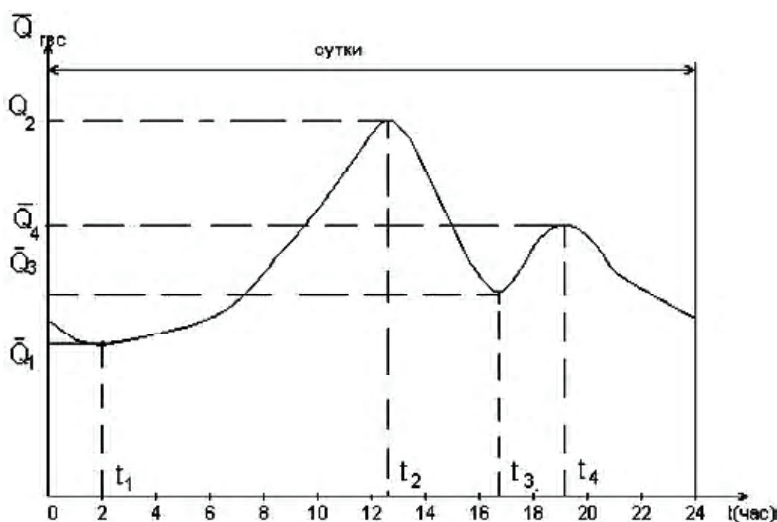


Рисунок 2 – Суточный график нагрузки ГВС административных зданий [2].

Исследование работы системы ГВС производится с целью определения режима стабильной работы насосов, балансировочной, термостатической арматуры и др.

Для схемы системы ГВС с установившимся режимом течения воды имеет место зависимость линейно независимых контуров

$$m - 1 + b = d, \quad (1)$$

где d – произвольное количество участков системы ГВС;
 b – линейно независимые контуры системы ГВС;
 m – узлы системы ГВС.

Будем считать, что для каждой ветви $i = (i, j + 1)$, где j и $j + 1$ ее начальный и конечный узлы, задан закон гидравлического сопротивления, связывающий общую потерю давления на трение, перепад. На каждом участке действует закон квадратичного гидравлического сопротивления

$$X_i + H_i = \mathbf{X}_i S_i^2, \quad (2)$$

где X_i – потеря давления на i -м участке;
 H_i – активный напор на i -м участке;
 \mathbf{X}_i – гидравлическое сопротивление участка на i -м участке;
 S_i – расход воды на i -м участке.

Однако о расходе S_i необходимо судить в зависимости от направления потока на участке и характерного сопротивления. В работах академика В. Я. Хасилева [3–6] вводятся векторные обозначения и диагональные матрицы \vec{X} , \mathbf{S} , \vec{H} , \mathbf{A} и \mathbf{B} , тогда система ГВС в целом описывает уравнение, относящееся к каждому участку ($i = 1, \dots, n$) [6]

$$\vec{S} + \vec{H} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{X} \cdot \vec{S}, \quad (3)$$

где \vec{S} – вектор искомых потерь давления на участке;
 \vec{H} – вектор известных перепадов давления, создаваемых циркуляционными, смесительными насосами на участках схемы ГВС;
 \mathbf{X} – диагональная матрица характеристик гидравлического сопротивления всех участков системы ГВС от ($i = 1$) до ($i = n$);
 \mathbf{S} – диагональная матрица расходов воды всех участков системы ГВС от ($i = 1$) до ($i = n$);
 \vec{S} – вектор расходов воды на искомых участках системы ГВС.

При расчете потокораспределения должно выполняться два «сетевых» закона Кирхгофа. В первом законе в каждом узле j будет соблюдаться математический баланс

$$\sum_j S_j = G_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (4)$$

где $\sum_j S_j$ – алгебраическая сумма по всем участкам, имеющая общий узел j . Если в узле j потребляется вода, то $S_j > 0$, источник теплоты $S_j < 0$, если это разветвление $S_j = 0$.

Для системы ГВС должны быть заданы значения S_j таким образом, чтобы имел место их общий нулевой баланс по всем узлам m

$$\sum_{j=1}^m S_j = 0; \quad S_m = -\sum_{j=1}^{m-1} S_j. \quad (5)$$

С использованием матрицы соединений \mathbf{A} , которая однозначно отображает топологию схемы системы ГВС, фиксируя соединение всех ее d – участков и ($m - 1$) линейно независимых узлов, балансы уравнения (4) для всей системы запишем в виде

$$\mathbf{A} \vec{S} = \vec{S}_{yp}, \quad (6)$$

где \vec{S}_{yp} – вектор узловых расходов в отдельных узлах системы ГВС.

Второй закон Кирхгофа требует нулевого суммарного изменения потерь давления Δp_i для любого гидравлического контура

$$\sum_c X_i = 0. \quad (7)$$

Применимо для любого независимого контура ($c = 1, \dots, b$) выбранной системы ГВС, применяя матрицу \mathbf{B} , получаем сокращение закона Кирхгофа

$$\mathbf{B} \vec{X} = 0, \quad (8)$$

где \mathbf{B} – матрица совпадения мест обходов контуров.

Первая математическая модель сводится к системе уравнений

$$\mathbf{A}\vec{S} = \vec{S}_{yp}, \mathbf{B}\vec{X} = 0, \vec{X} + \vec{H} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{S} \cdot \vec{S}. \quad (9)$$

Уравнение (3), составляющее последнюю группу из n уравнений, называется замыкающим соотношением – оно дополняет $m - 1$ уравнений первого закона и b уравнений второго закона Кирхгофа до полной системы (9) из $2n$ уравнений относительно $2n$ неизвестных S_i и X_i [6].

В этой системе можно исключить вектор \vec{X} путем подстановки (3) в (7):

$$\mathbf{A}\vec{S} = \vec{S}_{yp}. \quad (10)$$

Для определения степени открытия регулирующей арматуры в математическую модель должна быть введена матрица \mathbf{E} , которая будет учитывать степень открытия балансирующей и регулирующей арматуры. После введения дополнительной матрицы она будет иметь вид

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{X} \cdot \vec{S} \cdot \mathbf{E} = \mathbf{B}\vec{H}. \quad (11)$$

В работе исследуется потокораспределение в принципиальной схеме горячего водоснабжения с комбинированным источником теплоты, представленной на рисунке 3.

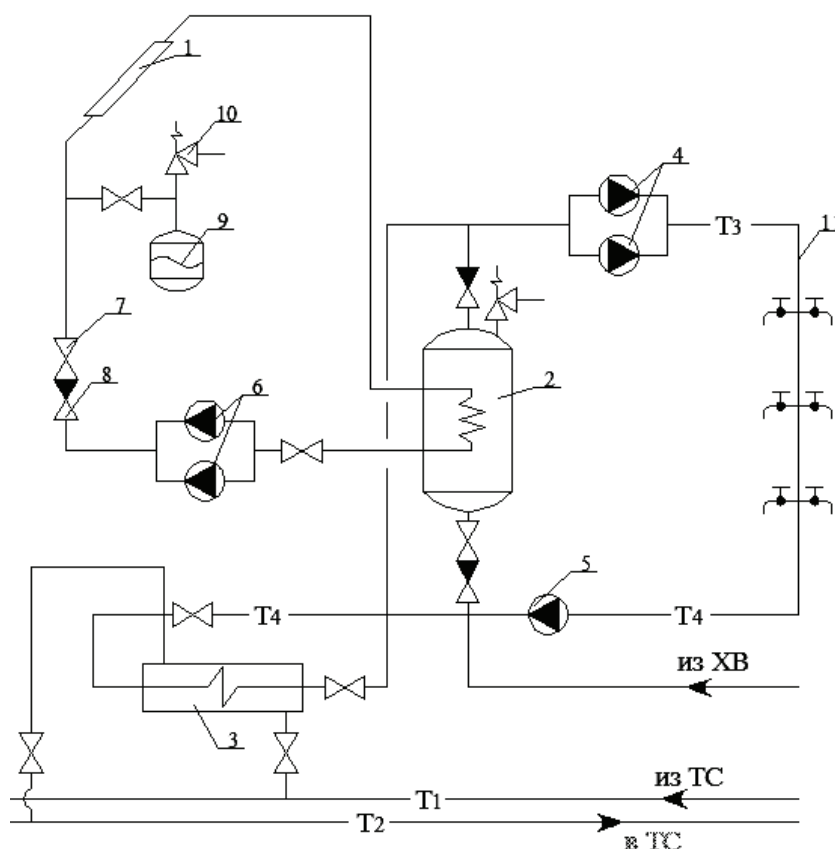


Рисунок 3 – Потокораспределение в принципиальной схеме комбинированного горячего водоснабжения на базе гелиоколлектора: ТС – тепловая сеть; ХВ – сеть питьевого водопровода; T_1 – греющий теплоноситель; T_2 – обратный теплоноситель; T_3 – горячая вода на нужды ГВС; T_4 – циркуляционный водопровод; 1 – солнечный коллектор; 2 – ёмкостной бак-аккумулятор; 3 – ИТП; 4 – повысительные насосы; 5 – циркуляционный насос системы ГВС; 6 – циркуляционные насосы контура солнечного коллектора; 7 – перекрывающий кран; 8 – обратный клапан; 9 – расширительный бак; 10 – предохранительный клапан; 11 – система ГВС.

Метод контурных расходов (МКР) – аналог известного метода контурных токов для расчета линейных электрических цепей в сочетании с методом Ньютона [7–9] для решения системы нелинейных алгебраических уравнений.

Схема представлена контуром гелиоколлектора, в котором циркулирует теплоноситель, нагреваемый теплотой солнечных лучей. Теплоноситель поступает в ёмкостной бак-аккумулятор, где отдает теплоту и поступает на повторный нагрев. Из бака-аккумулятора нагретый теплоноситель поступает на нужды ГВС. В случаях, когда температура воды на нужды ГВС опускается ниже 50°C ,

автоматически включается контур тепловой сети, который подогревает воду до требуемых параметров.

На основании предложенной схемы была разработана орг-граф схема распределения потоков с указанием направления их движения, участков и узлов (рис. 4). На схеме были выделены неактивные участки (1, 2, 3), так называемые Хорды. Участки 4–10 образуют активные ветви дерева схемы потокораспределения (рис. 5).

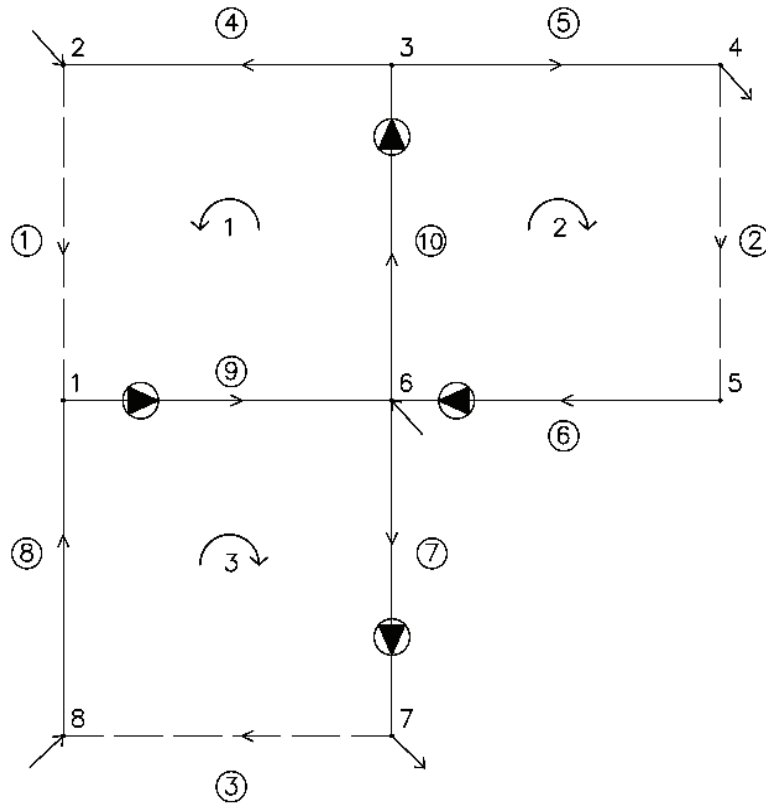


Рисунок 4 – Орг-граф схема распределения потоков.

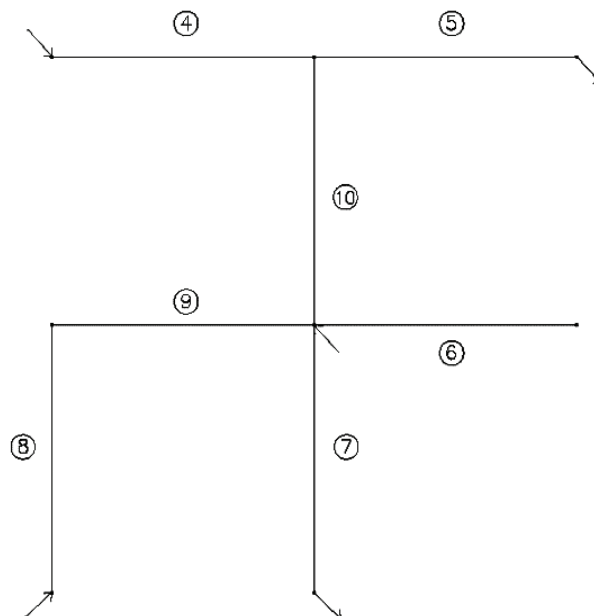


Рисунок 5 – Дерево схемы распределения потоков.

Нумерация элементов эквивалентной схемы комбинированной системы ГВС произведена таким образом, что первые номера присвоены хордам, $S_x = (S_1 \dots S_k)^T$, $S_d = (S_{k+1} \dots S_n)^T$, а номера контуров и направления их обхода совпадают с номерами и ориентацией хорд, то тогда $\mathbf{A} = (\mathbf{A}_x, \mathbf{A}_d)$, а $\mathbf{B} = (\mathbf{I}, \mathbf{B}_d)$, где \mathbf{I} – единичная матрица порядка k , t – знак транспортирования.

В системе комбинированного горячего водоснабжения процессы передачи теплоты обусловлены взаимодействием тепловых потоков, направленных от источников теплоты к нагреваемой воде (горячее водоснабжение). Процесс передачи теплоты в гелиоколлекторе характеризуется уравнением Ньютона-Рихмана, которое описывает передачу теплоты через твердую стенку с учетом коэффициентов теплоотдачи и тепловосприимчивости.

На основании построенных схем получена матрица \mathbf{A} совпадений векторов. Исходя из данной матрицы определены векторные узловые расходы и расходы действующих напоров (табл. 1).

Таблица 1 – Полная матрица соединений и узлов

	j	i									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mathbf{A} =$	1	+	0	0	0	0	0	0	0	–	0
	2	–	0	0	+	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	–	0	0	0	0	0	+
	4	0	–	0	0	+	0	0	0	0	0
	5	0	+	0	0	0	–	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	+	–
	7	0	0	–	0	0	0	+	0	0	0

Для полученного варианта дерева и соответствующей ему хордовой системы контуров исследуемое распределение потоков определяется векторами расходов $\bar{S} = (S_1, S_2, S_3 \dots S_{10})^T$ и гидравлических напоров $\bar{X} = (X_1, X_2, X_3 \dots X_{10})^T$. Для данного дерева системы ГВС и соответствующей ему хордовой системы контуров составляем матрицу \mathbf{B} совпадающих участков и контуров (табл. 2).

Таблица 2 – Полная матрица совпадений участков и контуров

	c	i									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mathbf{B} =$	1	+	0	0	+	0	0	0	0	+	0
	2	0	+	0	0	+	+	0	0	0	+
	3	0	0	+	0	0	0	+	+	+	0

Числа в строке означают: «0» отсутствие участка на i -м контуре, «+» совпадение, а «–1» несовпадение принятого направления движения на участке с принятым направлением обхода.

Построены диагональные матрицы гидравлических сопротивлений участков \mathbf{X} и расходов \mathbf{S} (ф-ла 12).

$$\mathbf{S} = \begin{Bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{10} \end{Bmatrix}; \quad \mathbf{X} = \begin{Bmatrix} X_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{10} \end{Bmatrix}. \quad (12)$$

В каждом столбце матрицы не более двух нулевых элементов «–» или «+», а это значит, что в определенный узел входит не более чем два контура, что является признаком плоской схемы. После построения матриц \mathbf{B} , \mathbf{X} , \mathbf{S} запишем производную трех матриц (табл. 3).

Составим систему уравнений исходя из матриц \mathbf{A} и \mathbf{BSX} , решение которых является коэффициентами системы уравнений (10, 11), относительно S_1, S_2, \dots, S_{10} :

Таблица 3 – Производная матрица **B**, **X**, **S**

BXS	S_1X_1	0	0	S_4X_4	0	0	0	0	S_9X_9	$S_{10}X_{10}$
	0	S_2X_2	0	0	S_5X_5	S_6X_6	0	0	0	$S_{10}X_{10}$
	0	0	S_3X_3	0	0	0	S_7X_7	S_8X_8	S_9X_9	0

$$\begin{cases} X_1 + X_2; \\ X_1 + X_4; \\ X_4 + X_{10}; \\ X_2 + X_5; \\ X_2 + X_6; \\ X_9 + X_{10}; \\ X_3 + X_7. \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} S_2X_1^2 + S_4X_4^2 + S_9X_9^2 + S_{10}X_{10}^2; \\ S_2X_2^2 + S_5X_5^2 + S_6X_6^2 + S_{10}X_{10}^2; \\ S_3X_3^2 + S_7X_7^2 + S_8X_8^2 + S_9X_9^2. \end{cases}$$

Искомой для МРК является система (10, 11) относительно вектора \bar{S} . В процессе последующих приближений

$$\bar{S}^{(N+1)} = \bar{S}^N + \bar{S}^{(N+1)}, \quad (14)$$

где N – порядковый номер приближений, применяется таким образом, что для любого \bar{S} выполняется условия (10) математических балансов в узлах. Для этого необходимо, чтобы выполнялось начальное приближение (6), а все приращения $\Delta S = (\Delta S_1 \dots \Delta S_n)^T$ к расходам имели бы нулевые балансы

$$\mathbf{A} \Delta S = \mathbf{A}_x \Delta S_x + \mathbf{A}_d \Delta S_d = 0, \quad (15)$$

Из выражения (16) следует, что в качестве независимых переменных можно принять приращения к расходам на хордах $-\Delta S_x$, тогда поправки на соответствующих участках к расходам на участках дерева S_d можно будет определить

$$\Delta S_d = -(\mathbf{A}_d^{-1} \cdot \mathbf{A}_x) \Delta S_x, \quad (16)$$

При этом матрицу \mathbf{A}_d обращать не требуется, это следует из работ А. П. Меренкова [11].

$$-\mathbf{A}_d^{-1} \cdot \mathbf{A}_x = \mathbf{B}_d^T, \quad (17)$$

уравнение будет иметь вид

$$\Delta S = (\Delta S_x^T, \Delta S_d^T) = (\mathbf{I}, \mathbf{B})^T \Delta S_x = \mathbf{B}^T \Delta S_x. \quad (18)$$

Приращения расходов на хордах ΔS_x принимаются из условия уменьшения невязок, которые получаем при подстановке в (11)

$$\mathbf{B} \mathbf{S}^N \cdot S^N = \Delta h^N, \quad (19)$$

где Δh^N – вектор невязок напоров для вычисляемых контуров по данным N -го приближения. Для пассивных цепей

$$\Delta h^N = \sum_c h_i^N, \quad (20)$$

где h^N – вектор-столбец невязок давлений, численных для контуров по данным N -го приближения.

В окончании расчетов потокораспределения проводится анализ сходимости вычисления процесса

$$|G^{N+1} - G^N| \leq \delta. \quad (21)$$

где δ – вектор допустимых погрешностей значений расходов.

ВЫВОДЫ

Разработанная математическая модель потокораспределения в контурах системы горячего водоснабжения с комбинированным источником теплоты позволяет определить степень открытия и пределы регулирования балансировочной и регулирующей арматуры в различных режимах работы солнечного коллектора, что позволит более экономично расходовать теплоноситель, получать более комфортные параметры микроклимата в обслуживаемых помещениях, а также снизит время отклика системы на регулирование того или иного параметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнительный анализ показателей конструкций солнечных коллекторов зарубежного и отечественного производства. Новые технические решения [Текст] / О. С. Попель, С. Е. Фрид, В. Н. Щеглов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2006. – № 3. – С. 11–16.
2. Методика оценки эффективности использования солнечных водонагревательных установок в климатических условиях Российской Федерации [Текст] / О. С. Попель, С. Е. Фрид, Ю. Г. Коломиец. – М. : Изд-во МФТИ, 2004. – 215 с.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] : учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел ; изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.
4. Михеева, И. М. Теплопередача и тепловое моделирование [Текст] : [сборник статей]. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – С. 226–238. – 420 с.
5. Проектирование тепловых сетей [Текст] : справочник проектировщика / под. ред. А. А. Николаева. – М. : Теплопроект, 1985. – 360 с.
6. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей [Текст] / В. Я. Хасилев, А. П. Меренков, Б. М. Каганович и др. ; под ред. В. Я. Хасилева и А. П. Меренкова. – М. : Энергия, 1978. – 176 с.
7. Network Flows: Theory, Algorithms and Applications [Текст] / R. K. Ahuja, T. L. Magnati, J. B. Orlin. – Prentice Hall : New Jersey, 1993. – 863 p.
8. Демидович, Б. П. Основы вычислительной математики [Текст] / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – М. : Наука, 1970. – 664 с.
9. Parallel algorithms for Solving the Convex Minimum Cost Flow Problem [Текст] / P. Beraldi, F. Guerriero, R. Musmanno // Computational Optimization and Applications. – 2001. – № 18. – P. 175–190.
10. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей [Текст] / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. – М. : Наука, 1985. – 277 с.

Получено 06.10.2019

М. В. ДОЛГОВ, Д. В. ВИБОРНОВ, З. В. УДОВИЧЕНКО МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА З ГЕЛІОКОЛЕКТОРАМИ ДЛЯ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Проведено аналіз досліджень провідних вчених з метою визначення раціональної методики побудови моделей зміни навантаження систем гарячого водопостачання протягом доби для різних видів споживачів теплової енергії, зокрема для споживачів житлових і громадських будівель. Запропоновано принципову схему гарячого водопостачання з комбінованим джерелом теплоти на базі геліоколлектора. Для дослідження потокорозподілу у запропонованій схемі використовувався метод контурних витрат (МКВ) – аналог відомого методу контурних струмів для розрахунку лінійних електричних ланцюгів в поєднанні з методом Ньютона для розв'язання системи нелінійних алгебраїчних рівнянь. На підставі запропонованої схеми була розроблена орг-граф схема розподілу потоків з вказівкою напрямку їх руху, ділянок і вузлів. Розроблено математичну модель потокорозподілу контурних витрат в запропонованій схемі ГВС з комбінованим джерелом теплоти, що дозволяє визначити ступінь відкриття і межі регулювання балансуючої і регулюючої арматури в різних режимах роботи сонячного колектора. Використання результатів математичного моделювання запропонованої схеми дає можливість економно витратити теплоносії, отримувати більш комфортні параметри мікроклімату в обслуговуваних приміщеннях, а також знизити час відгуку системи на регулювання того чи іншого параметра.

Ключові слова: гаряче водопостачання, комбіноване джерело теплоти, геліоколлектор, потокорозподіл, метод контурних витрат, мікроклімат.

NIKOLAY DOLGOV, DMITRY VYBORNOV, ZLATA UDOVICHENKO
MATHEMATICAL MODELING OF A COMBINED HEAT SOURCE WITH A
SOLAR COLLECTOR FOR A HOT WATER SYSTEM

Donbas National Academy of Construction and Architecture

Abstract. The research of leading scientists was analyzed to determine a rational methodology for constructing models for changing the load of hot water supply systems during the day for various types of heat energy consumers, in particular for consumers of residential and public buildings. A schematic diagram of hot water supply with a combined heat source based on a solar collector is proposed. To study the flow distribution in the proposed scheme, the contour flow method (MCR) was used - an analog of the known contour current method for calculating linear electric circuits in combination with the Newton method for solving a system of nonlinear algebraic equations. Based on the proposed scheme, an org-graph was developed for a flow distribution scheme indicating the direction of their movement, sections and nodes. A mathematical model of the flow distribution of contour flows in the proposed DHW circuit with a combined heat source is developed, which allows determining the degree of opening and regulation limits of balancing and controlling valves in different operating modes of the solar collector. Operating the results of mathematical modeling of the proposed scheme makes it possible to economically use coolant, obtain more comfortable microclimate parameters in the serviced rooms, and also reduce the response time of the system to the regulation of a particular parameter.

Key words: hot water supply, combined heat source, solar collector, flow distribution, contour flow method, microclimate.

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

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

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

Долгов Микола Вікторович – кандидат технічних наук, асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

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

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

Dolgov Nikolay – Ph. D. (Eng.), 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.

Vybornov Dmitry – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in systems of a heat-gas supply and ventilation.

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

УДК 69.059.6; 504.3.504

Т. С. БАШЕВАЯ, А. А. ШЕЙХ

ГОО ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ГРАНИЦАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

Аннотация. В работе исследовано влияние тоннажности строящихся зданий и уровня сложности строительства на количество образующихся отходов в процессе возведения жилых объектов. Определены нормативные значения объемов строительных отходов в процессе строительства жилых объектов. Установлены основные источники загрязнения атмосферного воздуха на стройплощадках. Изучены существующие методики расчета значений валовых выбросов загрязняющих веществ. Установлены основные факторы, влияющие на величину выбросов: продолжительность строительства, этажность зданий, план расположения застройки, применяемые материалы в процессе строительства. Установлены математические зависимости изменения количества валовых значений выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух, от этажности зданий и объемов строительства. Проведен анализ изменения показателя удельного прироста (ΔM_B) валового значения выбросов загрязняющих веществ на один возводимый этаж исследуемых проектов строительства жилых зданий.

Ключевые слова: экологическая безопасность, строительство, загрязнение атмосферы, валовые выбросы, отходы строительства, этажность зданий, объем строительства, показатель удельного прироста.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Интенсивное возведение нового жилого фонда является отличительной чертой современного города. Заказчики и проектировщики строительных объектов редко задумываются о том, каким образом непосредственно процесс строительства скажется на состоянии всех компонентов окружающей среды, в том числе и на здоровье населения, проживающего в районе проведения строительных работ [1]. Необходимость изучения влияния источников строительства на уровень загрязнения городской среды обосновано также тем, что чаще всего современные высотные здания возводятся среди уже существующих жилых домов и приносят дополнительную нагрузку на все компоненты окружающей среды. Выбор правильных технологических и организационных решений на этапах проектирования современных жилых объектов зависит от правильной оценки уровня воздействия строительства зданий большой этажности на компоненты окружающей среды. Для того, чтобы правильно оценить влияние процесса возведения зданий в районе застройки, необходимо учитывать технологию и особенности организации каждого отдельного строительства, так как возводимые жилые здания отличаются между собой конструктивными параметрами. Это можно выполнить на основании установленных математических зависимостей влияния таких факторов, как: этажность и объемы строительства жилых объектов на величину образующегося количества загрязняющих веществ в виде отходов и валовых выбросов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В соответствии с Законом ДНР «Об охране окружающей среды» [2] при возведении зданий обязательно должны соблюдаться требования в области охраны окружающей среды. Насколько негативно влияет процесс возведения зданий на компоненты окружающей среды на конкретной отдельно взятой территории, можно судить только лишь на основании полученных расчетным путем значений валовых выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух, и значений массы отходов, образующихся при выполнении строительных работ на стройплощадке. В работе [3]

установлены основные факторы, влияющие на величину выбросов, поступающих на атмосферный воздух: продолжительность строительства, этажность зданий, план расположения застройки, применяемые материалы в процессе строительства и их количество. На основании установленных факторов необходимо вывести математические зависимости, которые позволят определить, как влияют этажность зданий и объем строительства на количество образующихся отходов и валовых выбросов в процессе строительства жилых зданий.

ЦЕЛЬ

Установление закономерностей влияния этажности и объемов строительства жилых объектов на величину образующегося количества загрязняющих веществ в виде отходов и валовых выбросов, поступающих в атмосферный воздух, при проведении строительных работ в границах стройплощадок.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для установления зависимостей влияния объемов строительства на количество отходов в работе проанализированы проекты возведения 20 жилых зданий различной этажности: от 3 до 26 этажей, расположенных в одной климатической зоне. Нормативные значения объемов образования строительных отходов были определены сметным расчетом на основании перечня, включаемого в состав раздела 8 ОВОС «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» пояснительной записки проектной документации, а также справки предприятия о стоимости их размещения и утилизации строительного мусора [4, 5]. В состав строительных отходов вошли следующие компоненты: бетонные обломки, отходы цемента, бой строительного кирпича и керамики, отходы песчано-гравийной смеси, щебня, строительный мусор от разборки зданий и т. д. Результаты исследований позволили установить следующие зависимости влияния тонажности строящихся зданий (рис. 1а), а также уровня сложности строительства (рис. 1б) на количество образующихся отходов в процессе возведения жилых объектов.

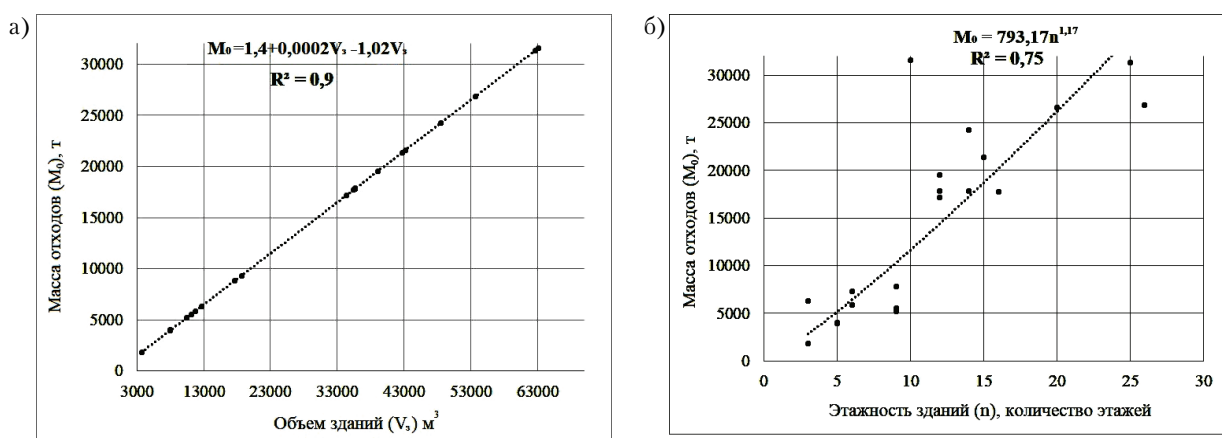


Рисунок 1 – Зависимость изменения массы образующихся отходов от объемов строительства (а) и от этажности зданий в процессе строительства (б).

Анализ полученных данных показал, что наблюдается прямая зависимость увеличения массы (M_0) образующихся строительных отходов с увеличением объемов строительства (рис. 1а): по линейной зависимости $M_0 = 1,4 + 0,0002V_3 - 1,02 V_3^2$. В меньшей степени выражена зависимость образования строительных отходов от этажности возводимых зданий (рис. 1б), которая представлена степенной зависимостью $M_0 = 793,17V_3^{1,1674}$, что объясняется отличительными архитектурно-техническими характеристиками возводимых объектов, такие как высота и ширина, размеры в плане; материалов, которые используются для строительства; технологической оснащенности строительного производства и других факторов [6]. Так, например, сравнивая проекты возведения 3 и 15 этажных зданий можно сделать вывод, что при увеличении этажности зданий в 5 раз наблюдается увеличение массы строительных отходов в 7,6 раза, а увеличение этажности зданий в 1,7 раза, при сравнении 15 и 26 этажных зданий, дает прирост массы отходов в 1,3 раза. Относительно объемов строительства: рост

массы строительных отходов сначала увеличивается в 7,6 раз, а далее в 1,3 раза, при увеличении объемов строительства – в 11,7 раз и 1,4 раза соответственно.

Процесс строительства жилых зданий также оказывает непосредственное, хоть и кратковременное, воздействие на атмосферный воздух. Как видно из рисунка 2, на стадии возведения новых объектов основными источниками загрязняющих веществ в атмосферу являются практически все виды строительных работ [7, 8].



Рисунок 2 – Источники загрязнения атмосферного воздуха на стройплощадках.

Для определения влияния объемов строительства и этажности зданий на атмосферный воздух в работе были определены валовые количества выбросов ($M_{атм}$) при строительстве 3 и 26 этажных жилых объектов. При расчете валовых значений выбрасываемых веществ были использованы утвержденные на законодательном уровне методики расчета для отдельных видов работ с последующей суммацией значений [9–16].

В состав валовых значений выбросов, образующихся в процессе строительства, вошли следующие загрязнители атмосферы: пыль неорганическая, диоксид азота, оксид углерода, серы диоксид и т. д. При этом состав выбросов при реализации отделочных работ в значительной степени зависит от вида выбранных материалов. На основании полученных значений валовых выбросов загрязняющих веществ были установлены математические зависимости изменения суммарного значения валовых выбросов от объема строительства (рис. 3а) и этажности зданий (рис. 3б).

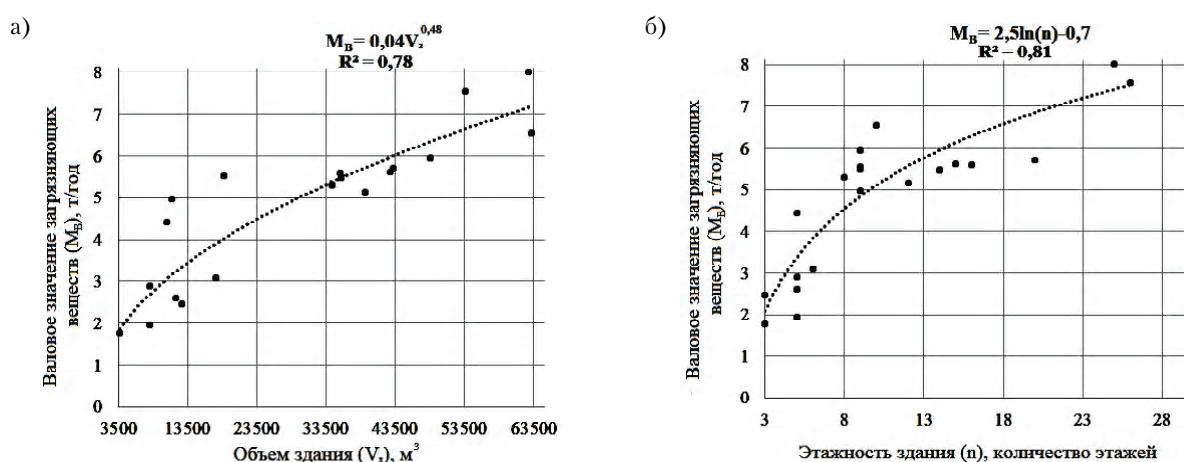


Рисунок 3 – Зависимость изменения валовых выбросов от объемов строительства (а) и этажности зданий (б).

Анализ рисунка 3а показал, что наблюдается увеличение количества выбросов в атмосферу с увеличением объемов строительства строящегося объекта по степенной зависимости $M_B = 0,04 V^{0,48}$. Так, например, при сравнении процесса строительства 3 и 15 этажных зданий наблюдается увеличение количества объемов строительства в 11,7 раза, и как следствие, количество выбрасываемых загрязняющих веществ увеличивается в 3,2 раза. Сравнивая проекты возведения 15 и 26 этажных зданий –

при увеличении объема зданий в 1,4 раза – значения валовых выбросов возрастают в 1,35 раза. Рост этажности возводимых зданий (рис. 3б) также влечет за собой дополнительную нагрузку на атмосферный воздух и увеличивается по логарифмической зависимости $M_b = 2,5 \ln(n) - 0,7$. Если сравнивать строительство 3 и 15 этажных зданий и строительство 15 и 26 этажных, то увеличение валовых значений выбрасываемых загрязняющих веществ в 3,2 раза и в 1,35 раза наблюдается при росте этажности зданий в 5 раз и в 1,7 раза соответственно. Можно сказать, что согласно рисунку 3б удельный прирост (ΔM_b) количества выбросов загрязняющих веществ на один возводимый этаж составляет $\Delta M_b = 0,29$ т/этаж. Детальный анализ проектов жилых зданий показал, что с увеличением роста зданий с 3 до 4 этажей удельное количество образующихся веществ составляет $\Delta M_b = 0,84$ т/этаж за счет земляных работ, а далее в результате проведения отделочных работ – снижается, например, при сравнении 14 и 15 этажей значение удельного прироста составляет $\Delta M_b = 0,13$ т/этаж. Следовательно, с увеличением этажности зданий показатель удельного прироста обратно пропорционально снижается.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения исследования выявлены основные источники выбросов загрязняющих веществ и образования строительных отходов, образующихся при возведении жилых зданий; установлены закономерности влияния этажности и объемов строительства жилых объектов на величину образующегося количества загрязняющих веществ в виде отходов и валовых выбросов, поступающих в атмосферный воздух, при проведении строительных работ в границах стройплощадок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов, В. А. Адаптация высотной застройки в структуре современного города [Текст] / В. А. Блинов // Градостроительство: академический вестник. – 2010. – № 4. – С. 18–24.
2. Об охране окружающей среды [Текст] : закон № 38 – ІНС от 30.04.2015 г. [Текст] / Принят Постановлением Народного Совета (с изменениями, внесенными Законом от 21.06.2019 г. № 43 – ІІНС) – 68 с.
3. Башева, Т. С. Влияние параметров возводимых зданий на уровень загрязнения атмосферного воздуха [Текст] / Т. С. Башева, А. А. Шейх // Инновации в строительстве-2018 : материалы международной научно-практической конференции (22–24 ноября 2018 г., Брянск). – Брянск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (Брянск), 2018. – С. 155–161.
4. Башева, Т. С. Проблема отходов строительства и сноса в контексте экологической безопасности государства [Текст] / Т. С. Башева // Актуальные проблемы экологии и охраны : сборник статей VIII Международной научно-практической конференции (12 мая 2016 г., Курск) ; в 2 частях, Ч. 1. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2016. – С. 81–87.
5. Регламент выполнения работ по разработке раздела «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» в составе проектной документации [Текст] : постановление № 87 от 16.02.2008 г. в соотв. с Градостроительным кодексом РФ и Постановлением Правительства РФ. – 2008. – 8 с.
6. Weisheng, Lu. A framework for understanding waste management studies in construction [Text] / Lu. Weisheng, Yuan Hongping // Waste Management. – 2011. – P. 1252–1260.
7. Башева, Т. С. Изменение эмиссии загрязняющих веществ в зависимости от архитектурно-технических характеристик возводимых зданий [Электронный ресурс] / Т. С. Башева, А. А. Шейх // Вестник Донбасской академии строительства и архитектуры. – 2018. – Вып. 2018-5(133) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 96–101. – Режим доступа : [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018-5\(133\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018-5(133).pdf).
8. The control of dust and emissions from construction and demolition projects [Text] / Control of Dust and Emissions from Construction and Demolition Projects. – Gibraltar : Environmental Agency, 2011. – P. 21.
9. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Текст] – Введ. 2004-12-24 / [Н. С. Буренин, М. В. Волкодаева, А. Ф. Губанов, О. В. Двинянина и др.]. – СПб. : НИИ Атмосфера, 2005. – 166 с.
10. Методика расчета выделений загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (на основе удельных показателей) [Текст]. – Введ. 2015-09-01 / НИИ Атмосфера. – СПб. : НИИ Атмосфера, 2015. – 37 с.
11. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов (на основе удельных показателей) [Текст]. – Введ. 2015-09-01 / НИИ Атмосфера. – СПб. : НИИ Атмосфера, 2015. – 32 с.
12. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (на основе удельных показателей) [Текст]. – Введ. 2015-09-01 / НИИ по охране атмосферного воздуха. – СПб. : НИИ Атмосфера, 2015. – 37 с.

13. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортных предприятий (расчетным методом) [Текст]. – Введ. 1998-10-28 / [В. В. Донченко, Ж. Г. Манусаджянц, Л. Г. Самойлова, Ю. И. Кунин, Г. Я. Солнцева и др.]. – М. : Министерство транспорта РФ, 1998. – 45 с.
14. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом) [Текст]. – Введ. 1998-10-28 / [НИИАТ, МАДИ, НПО РосдорНИИ]. – М. : Министерство транспорта РФ. – 1998. – 65 с.
15. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для авторемонтных предприятий (расчетным методом) [Текст]. – Введ. 1998-10-28 / [НИИАТ, МАДИ]. – М. : Министерство транспорта РФ, 1998. – 67 с.
16. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов [Текст]. – Введ. 2000-01-01 / ЗАО «НИПИОТСТРОМ». – Новороссийск : [б. и.], 2000. – 28 с.

Получено 09.10.2019

Т. С. БАШЕВА, О. О. ШЕЙХ
 АНАЛІЗ РІВНЯ ВПЛИВУ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА В МЕЖАХ
 БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКІВ
 ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі досліджено вплив тоннажності споруджуваних будівель і рівня складності будівництва на кількість відходів, що утворюються в процесі зведення житлових об'єктів. Визначені нормативні значення обсягів будівельних відходів в процесі будівництва житлових об'єктів. Встановлені основні джерела забруднення атмосферного повітря на будмайданчиках. Вивчено існуючі методики розрахунку значень валових викидів забруднювальних речовин. Встановлено основні фактори, що впливають на величину викидів: тривалість будівництва, поверховість будівель, план розташування забудови, застосовувані матеріали в процесі будівництва. Встановлено математичні залежності зміни кількості значень валових викидів забруднювальних речовин, що надходять в атмосферне повітря, від поверховості будівель та обсягів будівництва. Проведено аналіз зміни показника питомого приросту (ΔM_B) валового значення викидів забруднювальних речовин на один поверх, що зводиться досліджуваних проектів будівництва житлових будинків.

Ключові слова: екологічна безпека, будівництво, забруднення атмосфери, валові викиди, відходи будівництва, поверховість будівель, обсяг будівництва, показник питомого приросту.

TATIANA BASHEVAYA, ALEXANDRA SHEIKH
 ANALYSIS OF THE LEVEL OF IMPACT OF CONSTRUCTION PRODUCTION
 WITHIN THE BOUNDARIES OF CONSTRUCTION SITES
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper studies the influence of tonnage of buildings under construction and the level of complexity of construction on the amount of waste generated during the construction of residential facilities. Normative values of volumes of formation of construction waste in the process of construction of residential facilities are determined. The main sources of air pollution at construction sites have been identified. The existing methods of calculating the values of gross emissions of pollutants are studied. The main factors influencing the value of emissions are established: the duration of construction, the number of storeys of buildings, the layout of the building, the materials operating in the construction process. Mathematical dependences of change of quantity of gross values of emissions of the polluting substances arriving in atmospheric air, from number of storeys of buildings and volumes of construction are established. The analysis of the change in the index of specific growth (?MR) of the gross value of pollutant emissions per one floor of the studied residential construction projects is carried out.

Key words: environmental safety, construction, air pollution, gross emissions, construction waste, number of storeys of buildings, construction volume, specific growth rate.

Башева Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: управление отходами и технологии рециклинга как методы обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития; повышение экологической безопасности в строительстве и коммунальном хозяйстве.

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.

Башева Тетяна Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: управління відходами та технології рециклінгу як методи забезпечення екологічної безпеки і сталого розвитку; підвищення екологічної безпеки в будівництві і комунальному господарстві.

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

Bashevaya Tatiana – Ph. D. (Eng.), Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: waste management and recycling technologies as methods of ensuring environmental safety and sustainable development; improving environmental safety in construction and municipal services.

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 504.062.2+504.062.4+504.7

В. В. ЮРЧЕНКО, Н. С. ШЕСТАВИН, Ф. В. НЕДОПЕКИН
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ РЕАЛИЗАЦИИ НА ДОНБАССЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ХРАНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Аннотация. Смягчение последствий глобального изменения климата возможно путем масштабной реализации технологий улавливания и хранения диоксида углерода (CO_2), который поступает в атмосферу из стационарных и подвижных источников. Анализируются возможности хранения сверхкритического CO_2 в геологических формациях Донбасса, которые обладают самым значительным потенциалом накопления CO_2 в Европе. Определены источники эмиссии CO_2 , пути его транспортировки и перспективные участки его геологического хранения. Выполнено ранжирование по эффективности и экологической безопасности среди кластеров источников эмиссии и участков хранения. Оценены риски влияния утечек CO_2 на природную окружающую среду: поверхностные и подземные водные ресурсы, различные типы почв и виды растительности. С помощью спутникового мониторинга определены поглощающие свойства растительности на перспективных участках геологического хранения CO_2 в случае его утечки из хранилищ. Рассмотрено три сценария утечек CO_2 и оценено их воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: изменение климата, диоксид углерода, геологическое хранение CO_2 , утечка CO_2 , водные ресурсы, почва, растительность, экологическая безопасность..

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уже происходят реальные изменения климата, главной причиной которых являются антропогенные выбросы парниковых газов и в наибольшей степени выбросы диоксида углерода (CO_2) из стационарных и подвижных источников. В связи с данными изменениями мировое сообщество формирует ряд альтернатив по уменьшению выбросов CO_2 : отказ от стремительного прогресса и роста потребления – переход на рельсы плановой экономики; развитие энергосберегающих и «зеленых» энергетических технологий при разумном ограничении сверхпотребления; утилизация CO_2 и других токсичных выбросов – превращение их в контролируемый запас, который может пригодиться человечеству [1]. На ряду с этими факторами были сделаны выводы о целесообразности и актуальности интенсивного внедрения процессов улавливания и хранения углерода (УХУ) в энергетике и промышленности на территории Донбасса, где сосредоточены значительные объемы выбросов парниковых газов, а также имеются глубокие геологические формации, пригодные для целей долговременного хранения сверхкритического CO_2 .

Технологии УХУ сейчас уже разрабатываются и внедряются в исследовательских, пилотных и промышленных масштабах, а также определены перспективы их развития до 2050 года, когда использование технологий УХУ позволит вместо увеличения эмиссии CO_2 к 2050 году на 130 % по сравнению с уровнем 2005 года достигнуть уменьшения эмиссии CO_2 только до 50 %. Территория Донбасса обладает самым значительным потенциалом [2] в Европе (рис. 1а) для геологического хранения CO_2 с целью смягчения последствий изменения климата. Этот потенциал накопления CO_2 оценивается величиной от 45,7 до 428,3 млрд тонн, что обуславливает интерес к возможности его использования для потребностей всей Европы, а дословный перевод названия этого рисунка – «Желательные свалки для нежелательного газа» намекает на большие риски геологического хранения CO_2 на территории Донбасса. Так как при использовании технологий УХУ возникают риски утечки CO_2 , которые могут оказывать неблагоприятное влияние на человека и окружающую среду.

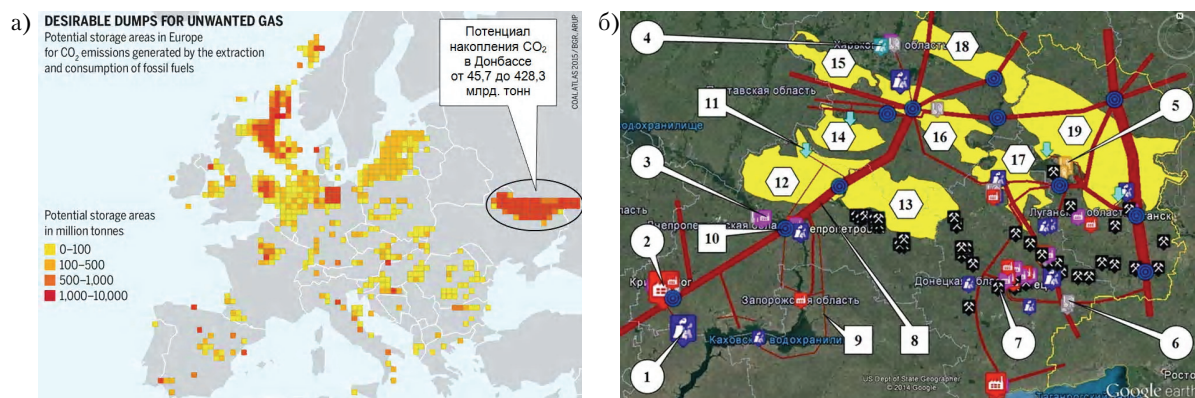


Рисунок 1 – Потенциал накопления CO_2 в Европе [2] (а), а также локализация источников эмиссии CO_2 , путей его транспортировки и перспективных участков его геологического хранения (б).

ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учитывая особую важность вопроса смягчения последствий глобального изменения климата, можно констатировать, что целью данного исследования является оценка и ранжирование этих экологических рисков утечки CO_2 при внедрении процессов УХУ в Донбассе, которое состоит в выполнении следующих задач:

- создать географическую информационную систему (ГИС) объектов утечки CO_2 : источников, возможных путей транспортировки и перспективных участков геологического хранения; а также субъектов воздействия CO_2 : водных ресурсов, различных типов почв и видов растительности с учетом географических, демографических и экологических параметров;
- выполнить предварительное районирование перспективных участков возможного геологического хранения CO_2 и оценки пористости горных пород на этих участках для обоснования возможности его долговременного хранения;
- на основе созданных слоев ГИС выполнить оценки экологических рисков влияния возможных утечек CO_2 из объектов, участвующих в процессах УХУ, на субъекты окружающей природной среды на территории Донбасса;
- оценить возможное влияние на состояние растительности утечек CO_2 с применением подходов, в основе которых лежит использование нормализованного вегетационного индекса полученных методами дистанционного зондирования Земли;
- рассмотреть наиболее вероятные сценарии утечек CO_2 из геологических хранилищ на территории Донбасса и оценить их воздействие на окружающую природную среду с учетом свойств горных пород, через которые мигрирует флюид CO_2 , присутствия заброшенных и действующих скважин, а также наличия на территориях геологических хранилищ локальных тектонических нарушений;
- проанализировать полученные показатели экологических рисков при реализации долгосрочного геологического хранения CO_2 на территории Донбасса и предложить эффективные пути внедрения технологий УХУ на предприятиях Донбасса.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении этого исследования были использованы следующие современные методы научных исследований и экспериментальное оборудование:

- ГИС создана на базе Интернет-сервиса Google Earth Pro, где построены слои объектов утечки и субъектов воздействия CO_2 . При этом были использованы официальные картографические материалы и геологическая информация из открытых источников информации;
- пористость горных пород на перспективных участках геологического хранения CO_2 была определена совместно с партнерами: предварительная подготовка образцов выполнялась в Университете города Осло (Норвегия), а затем эти образцы сканировались по методике рентгеновской томографии на синхротроне ESRF в Гренобле (Франция) с последующей обработкой программным обеспечением Avizo Fire;

– итоговый рейтинг экологической безопасности перспективных участков геологического хранения CO_2 был определен посредством метода мультикритериального анализа на основании данных созданной многослойной ГИС;

– распределение растительности на перспективных участках геологического хранения CO_2 исследовано с использованием методов вегетационного индексирования и проанализировано в программной среде MATLAB с помощью спутниковых снимков Земли красного и инфракрасного спектральных каналов, сделанных космическим аппаратом Landsat 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее была разработана ГИС, которая охватывает территорию Днепропетровской, Донецкой, Запорожской, Луганской и Харьковской областей Украины [3, 4] и содержит слой источников эмиссии CO_2 , которые представлены 12 угольными тепловыми электростанциями (маркер 1 на рис. 16), 13 металлургическими заводами (2), 14 коксохимическими заводами (3), 1 газовой теплоэлектроцентралью (4), 3 химическими заводами (5), 8 цементными заводами (6) и 39 действующими угольными шахтами (7). При этом, размер маркера соответствует пяти значениям годового объема выбросов CO_2 : от 1 Мт и менее до 10 Мт и более.

Эта ГИС также содержит слой с элементами существующей на этих территориях газотранспортной системы, которые могут быть использованы для транспортировки CO_2 и содержат магистральные газопроводы (8), распределительные газопроводы (9), компрессорные станции (10) и подземные газовые хранилища (11).

Анализ геологических структур [5] этих территорий с учетом демографических факторов позволил дополнить ГИС слоем из 8 перспективных участков (12–19 на рис. 16) геологического хранения сверхкритического CO_2 .

Выделяются три основных типа формаций, в которых возможно геологическое хранение CO_2 : истощенные или находящиеся на стадии истощения нефтегазоносные бассейны, глубоко залегающие соленосные формации и не имеющие промышленного значения угольные пласты. На территории Украины расположены крупные нефтегазоносные провинции с большим объемом продуктивных горизонтов. Один из самых крупных нефтегазоносных районов – Днепровско-Донецкий бассейн расположен в границах двух больших структур – Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) и Донецкого каменноугольного бассейна (Донбасса). Газоносность Днепровско-Донецкого бассейна тесно связана с терригенными осадочными породами среднего-верхнего карбона и нижней перми.

Результаты предыдущих геологоразведочных работ показали, что в геологических условиях ДДВ и Донбасса одними из перспективных в отношении газоносности районами являются участки с сохранными гидрохимическими отложениями нижнепермского возраста. Важная роль гидрохимических отложений заключается в их хороших изоляционных свойствах. Также важно расположение гидрохимических отложений в верхней части крупного седиментационного цикла, в литолого-фациальном составе которого преобладают породы, обладающие хорошими коллекторскими свойствами.

Одним из их ключевых газоемкостных параметров пород является пористость, которая определяется как отношение объема пор ко всему объему породы. В связи с отсутствием возможности взятия образцов из перспективных участков, пригодных для хранения CO_2 , были использованы образцы, которые ранее брались для других целей из осадочных отложений Донбасса, но имеющие близкое местонахождение к потенциальным участкам хранения CO_2 и относящиеся к соответствующим горизонтам. Поэтому для исследований пористости были использованы образцы песчаника (табл. 1), взятые из скважин, пробуренных в пределах Беляевского купола вблизи с. Беляевка, Первомайского района, Харьковской области [6].

Таблица 1 – Параметры образцов песчаника для определения пористости

Номер образца	1	2	3	4
Номер скважины	8	5	31	10
Глубина скважины, м	210	323	349	343

Для исследований были выбраны образцы пород в форме цилиндров высотой 20 мм и диаметром 8 мм. Предварительные оценки пористости были получены методом рентгеновской компьютерной

томографии. Эти исследования проводились в Европейском центре синхротронного излучения (г. Гренобль, Франция). Затем полученные данные обрабатывались в программе Avizo Fire. Используя Avizo Fire, было исследовано 4 образца при двукратном и десятикратном увеличении. Для вычисления объема пористости необходимо выполнить следующие действия: убрать «шум»; удалить матричный материал (породу), оставляя только поры; выполнить трехмерное восстановление пор и осуществить подсчет объема пор.

Для устранения «шума» необходимо отфильтровать изображение. Был использован фильтр Median. На рис. 2 для образца 1 представлены для сравнения оригинальные данные (а) и данные, отфильтрованные с помощью фильтра Median (б). Далее необходимо удалить матричный материал (породу), оставляя только поры. Для этого используется функция Thresholding (пороговая класси-

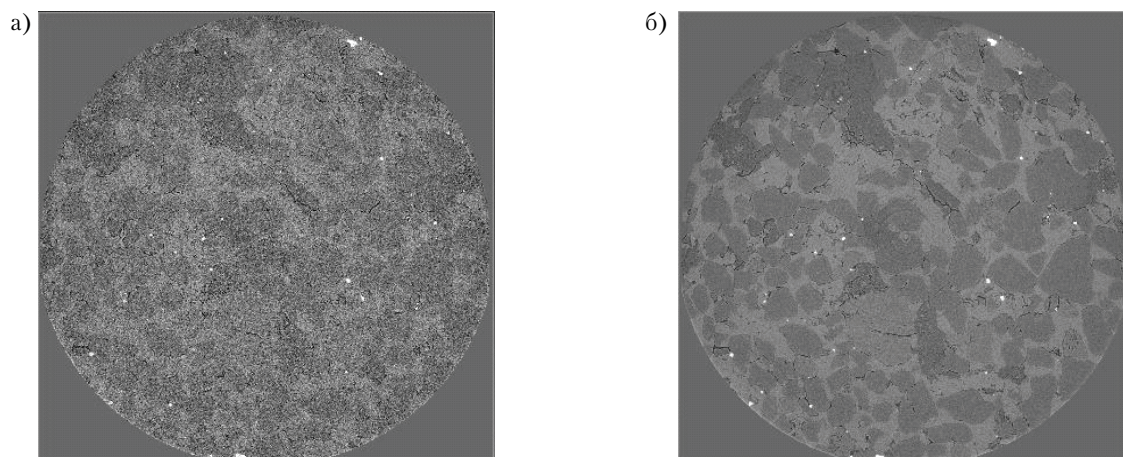


Рисунок 2 – Пример фильтрации данных: а) оригинальные данные; б) данные, обработанные фильтром Median.

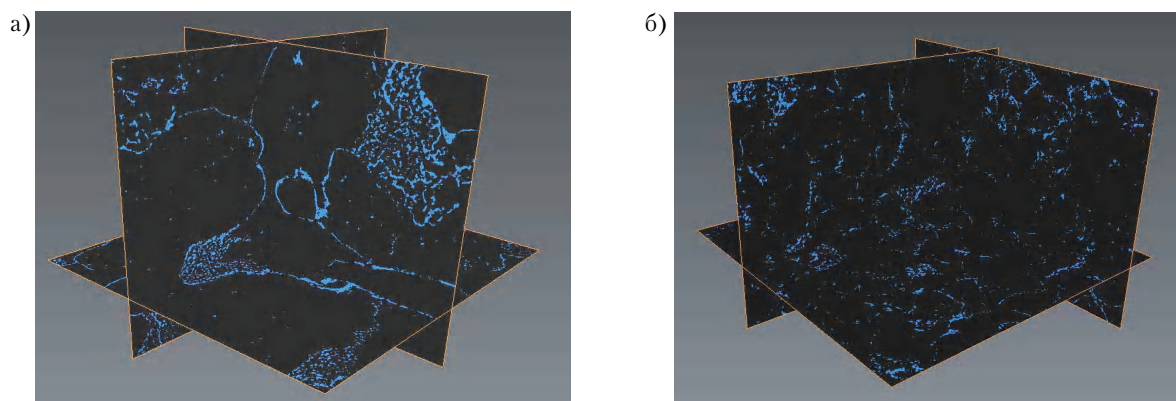


Рисунок 3 – Результат использования функции Thresholding: а) образец 1; б) образец 2.

фикация). На рис. 3 показаны поры, выделенные из общего массива данных, для образцов 1 и 2 соответственно (при десятикратном увеличении).

С помощью функции I_analyze производятся расчеты количества и объема пор. После чего в объемном изображении мы можем видеть прорисовку всех пор, где каждым отдельным цветом (оттенком серого) показаны цельные поры – кластеры взаимосвязанных пор, в которых может храниться CO_2 в сверхкритическом состоянии (рис. 4).

Суммируя объемы всех пор и учитывая значение объема образца можно определить относительный объем пор, то есть пористость. А на рис. 4 представлены результаты объемного восстановления пор только для двух образцов при различных увеличениях. Для остальных образцов эти результаты имеют аналогичный вид, а численные данные для всех образцов представлены в табл. 2.

Полученные значения пористости образцов и обработанных с использованием программного обеспечения Avizo Fire позволяют сделать вывод о перспективности использования осадочных отложений Донбасса для долговременного хранения CO_2 .

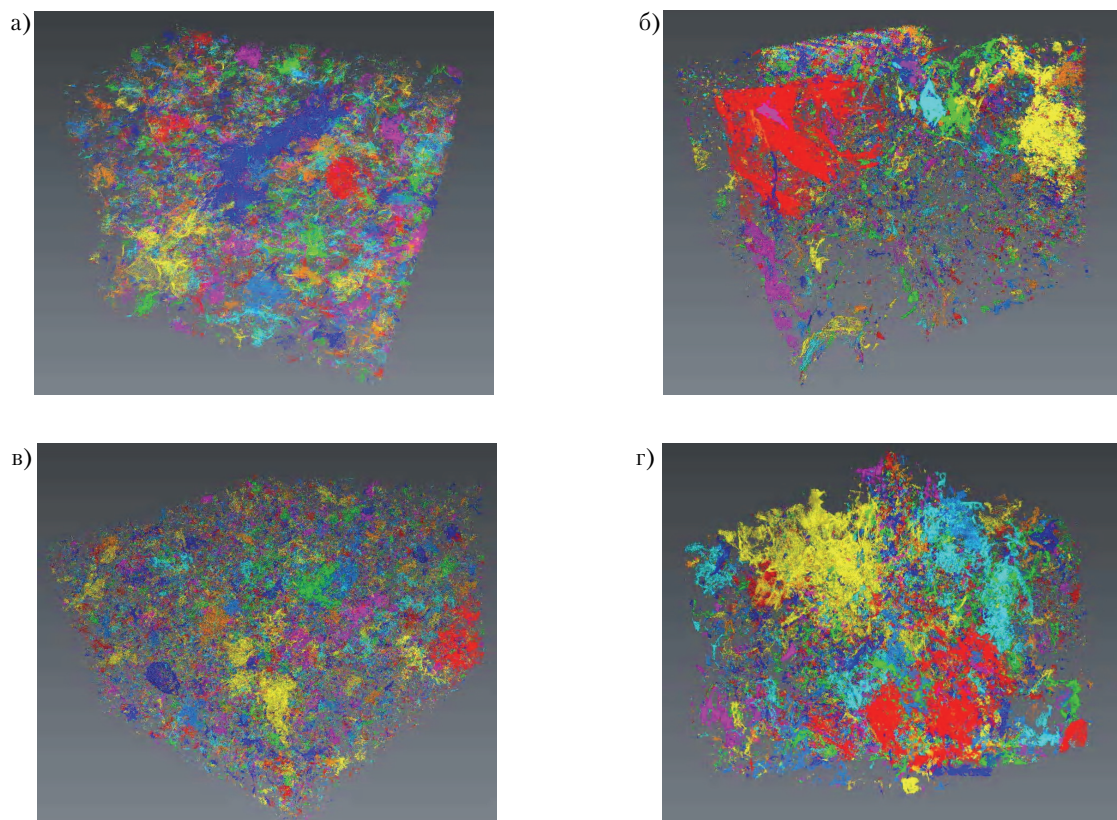


Рисунок 4 – Результаты объемного восстановления пор для двух образцов: а) образец 1 (двукратное увеличение); б) образец 1 (десятикратное увеличение); в) образец 2 (двукратное увеличение); г) образец 2 (десятикратное увеличение).

Таблица 2 – Статистика определения пористости

Номер образца	Увеличение	Минимальный объем пор, м ³	Максимальный объем пор, м ³	Среднее значение, м ³	Медианное значение, м ³	Средне-квадратичное отклонение	Относительный объем пор, %
1	2	2,18861E-17	4,59834E-11	1,42973E-15	8,75446E-17	8,46907E-14	0,01381
1	10	1,75089E-19	7,13294E-12	1,06747E-16	2,10106E-18	2,32723E-14	0,03206
2	2	2,18861E-17	1,50799E-11	1,62297E-15	1,53203E-16	4,24641E-14	0,01389
2	10	1,75089E-19	9,21765E-13	6,33780E-17	5,42775E-18	3,04981E-15	0,02661
3	10	1,75616E-19	2,28021E-12	7,96444E-17	2,10739E-18	7,75357E-15	0,02503
4	2	2,18861E-17	1,00121E-11	3,68775E-16	4,37721E-17	1,38530E-14	0,01350
4	10	1,75089E-19	2,10844E-12	4,05574E-17	5,25266E-19	5,11583E-15	0,01751

Для выбора сценария реализации технологий УХУ с учетом местоположения источников CO_2 и возможных участков геологического хранения CO_2 были совмещены в ГИС соответствующие слои и добавлен слой возможных путей транспортировки по существующим магистральным и распределительным трубопроводам, а также по новым дополнительным трубопроводам. Такая модернизация имеющихся элементов газотранспортной системы Украины и строительство новых трубопроводов требует больших инвестиций.

Основываясь на географической близости предприятий различных отраслей производства можно условно [7] выделить следующие кластеры (на рис. 5а эти кластеры показаны синими пунктирными овалами) источников эмиссии CO_2 и определить ориентировочный годовой объем (по данным 2012 года) эмиссии CO_2 этого кластера для оценки условий дальнейшей транспортировки CO_2 к участкам возможного его геологического хранения:

1. Криворожский кластер источников эмиссии CO_2 – 23,576 Мт;
2. Запорожский кластер источников эмиссии CO_2 – 5,673 Мт;

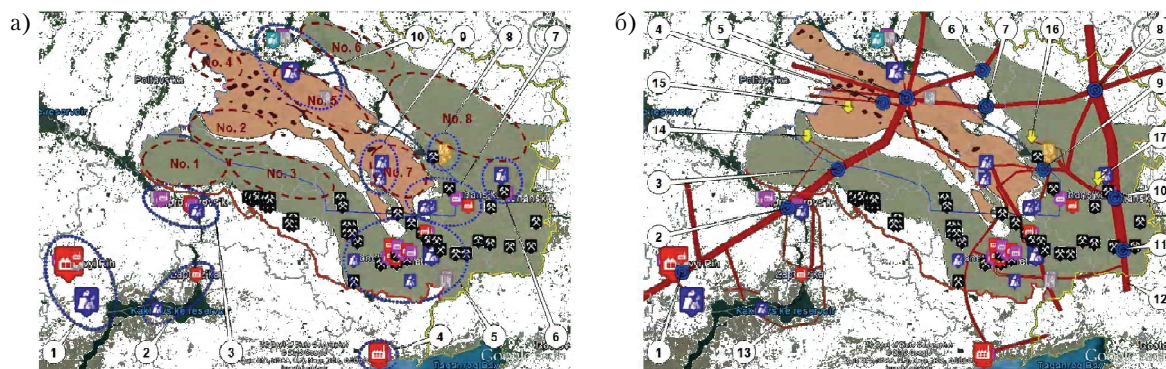


Рисунок 5 – ГИС кластеров источников эмиссии CO_2 (а) и элементов газотранспортной системы Украины (б).

3. Днепропетровский кластер источников эмиссии CO_2 – 5,508 Мт;
4. Мариупольский кластер источников эмиссии CO_2 – 14,927 Мт;
5. Донецкий кластер источников эмиссии CO_2 – 17,930 Мт;
6. Луганский кластер источников эмиссии CO_2 – 5,321 Мт;
7. Углеродский кластер источников эмиссии CO_2 – 2,694 Мт;
8. Северодонецкий кластер источников эмиссии CO_2 – 4,030 Мт;
9. Славянский кластер источников эмиссии CO_2 – 5,722 Мт;
10. Харьковский кластер источников эмиссии CO_2 – 10,782 Мт.

Вместе все предприятия, входящие в эти кластеры, выбрасывают CO_2 около 96,163 Мт/год, что составляет 85,4 % от выбросов CO_2 из стационарных источников в этих 5 восточных областях Украины, то есть от 112,6 Мт/год.

На рис. 5а также выделены коричневыми пунктирными овалами перспективные участки для геологического хранения CO_2 . Участки № 1–8 соответствуют по геологическим свойствам требованиям обеспечения долговременного хранения сверхкритического CO_2 , а также находятся вдали от зон с тектоническими нарушениями геологических структур и от действующих угольных шахт. Эти участки конкретизированы на рис. 2.

Можно использовать для транспортировки CO_2 существующую газотранспортную систему, которая сейчас эксплуатируется с частичной нагрузкой и не все возможное время. Нужно будет только перенаправить потоки газа путем переключения компрессорных станций и добавлением трубопроводов от конкретных источников CO_2 и к перспективным участкам геологического хранения CO_2 . В результате такого расширения в ГИС появится слой (рис. 5б) со следующими элементами:

1. Компрессорная станция «Радужное».
2. Компрессорная станция «Краснополье».
3. Компрессорная станция «Павлоград».
4. Компрессорная станция «Первомайск».
5. Компрессорная станция «Шебелинка».
6. Компрессорная станция «Купянск».
7. Компрессорная станция «Боровая».
8. Компрессорная станция «Новопсков».
9. Компрессорная станция «Лоскутовка».
10. Компрессорная станция «Луганск».
11. Компрессорная станция «Новодарьевка».
12. Магистральный газовый трубопровод (1, 2, 3, 4 или 5 труб).
13. Распределительный газовый трубопровод (1 или 2 трубы).
14. Станция подземного хранения газа «Пролетарка».
15. Станция подземного хранения газа «Кегичевка».
16. Краснопоповское подземное хранилище газа.
17. Вергунское подземное хранилище газа.

Используя эту инфраструктуру магистральных и распределительных газопроводов, компрессорных станций и подземных хранилищ газа, можно обеспечить минимизацию инвестиций для реализации технологий УХУ в восточных регионах Украины.

Вероятные утечки CO_2 при процессах улавливания на источниках эмиссии CO_2 и при транспортировке как по старым обычным трубам высокого давления, так и по новым специальным трубопроводам для жидкого CO_2 будут иметь локальный аварийный характер и должны быстро устраняться. То есть существенного влияния на окружающую среду не будет происходить. А утечки CO_2 из геологических хранилищ могут оказывать значительное негативное воздействие как на человека, так и на окружающую среду.

Используя метод мультикритериального анализа и учитывая для конкретных кластеров источников выбросов CO_2 ряд критериев (годовой объем эмиссии CO_2 , количество предприятий с улавливанием CO_2 , длина необходимых дополнительных трубопроводов для CO_2 , расстояние от кластера источников CO_2 до ближайшего перспективного участка геологического хранения CO_2), был определен [8] рейтинг кластеров источников эмиссии CO_2 : 1 место имеет Славянский кластер с годовым объемом эмиссии $\text{CO}_2 = 5,722$ Мт; 2 – Криворожский = 23,576; 3 – Северодонецкий = 4,030; 4 – Луганский = 5,321; 5 – Донецкий = 17,930; 6 – Мариупольский = 14,927; 7 – Запорожский = 5,673; 8 – Харьковский = 10,782; 9 – Углегорский = 2,694; 10 – Днепропетровский = 5,508.

Аналогичным методом был определен рейтинг перспективных участков геологического хранения CO_2 с учетом ряда критериев (площадь участка; количество человек, проживающих на участке; средняя плотность населения на участке; численность населения крупных населенных пунктов, расположенных вблизи участка): 1 место занял участок под номером 19 на рис. 1 с полезной площадью = 10 522 км²; 2 – участок 14 = 2 336; 3 – участок 13 = 4 749; 4 – участок 12 = 4 490; 5 – участок 15 = 1 808; 6 – участок 17 = 3 661; 7 – участок 18 = 2 626; 8 – участок 16 = 3 693.

Влияние возможных утечек CO_2 из геологических хранилищ на окружающую природную среду было оценено [9] путем создания следующих слоев ГИС:

- поверхностных вод, где 34,1 % площади бассейна реки Северский Донец, а также 17,8 % – бассейна реки Днепр, занимают участки геологического хранения CO_2 ;
- подземных вод, где 42,7 % площади Днепровско-Донецкого артезианского бассейна, 18,1 % – Донецкой провинции и 5,1 % – провинции Украинского щита могут оказаться под влиянием утечек CO_2 ;
- поверхностного слоя почвы, где 73,6 % площади дерново-песчаных почв, 69,5 % – темно-серых оподзоленных почв, 55,0 % – луговых почв, 47,4 % – дерново-подзолистых почв, 22,8 % – черноземов типичных и 20,4 % – черноземов обычных находятся в зоне утечек CO_2 ;
- растительности, где 56,3 % площади северо-степных низменно-равнинных, 48,7 % – северо-степных равнинно-возвышенных, 28,8 % – лесостепных возвышенных и склоновых расчлененных, 24,8 % – лесо- и лугостепных возвышенных расчлененных, 11,4 % – северо-степных возвышенных и 1,0 % – северо-степных возвышенно-равнинных ландшафтов, на которой находятся участки возможных утечек CO_2 , приводящих к изменению концентрации CO_2 в приземной атмосфере и почве.
- растительность заповедного бассейна реки Северский Донец на 47,0 % площади рискует подвергнуться влиянию CO_2 , а бассейна реки Днепр (2) на 18,8 %.

При утечке CO_2 из геологических хранилищ часть газа будет уходить в атмосферу и создавать проблемы для населения расположенных на этих участках населенных пунктов, а некоторая часть будет поглощаться почвой и растительностью, которая произрастает на этой территории. При этом различные типы почв будут частично поглощать CO_2 путем минерализации своего состава, а разные виды растений обладают различными реакциями на поглощение CO_2 и могут усваивать конкретные объемы CO_2 в зависимости от плотности биомассы на данной площади.

Количество биомассы на перспективных участках геологического хранения CO_2 определялась методами дистанционного зондирования Земли по значениям нормализованных разностных вегетационных индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [10], которые характеризуют степень поглощения CO_2 растительностью на этих участках (рис. 16). Участок № 12 имеет среднее значение индекса NDVI = 0,20; № 13 – 0,25; № 14 – 0,15; № 15 – 0,05; № 16 – 0,25; № 17 – 0,03; № 18 – 0,30; № 19 – 0,04. Чем больше среднее значение NDVI, тем выше поглощающая способность данного участка, то есть участок № 18 наиболее перспективный для геологического хранения CO_2 в Донбассе.

Оценка значений индексов NDVI на перспективных участках геологического хранения CO_2 выполнена путем цифровой обработки спутниковых снимков с космического аппарата Landsat 7 красного и инфракрасного спектральных каналов со следующими значениями сенсоров (NIR: 0,75–0,90 мкм) и (RED: 0,63–0,69 мкм), полученных с помощью Интернет-сервиса Landsat Look Viewer.

Вычисления индексов NDVI проведены в среде MATLAB по алгоритму, где использовались маски контуров потенциальных участков геологического хранения CO_2 , полученные в Интернет-сервисе Google Earth Pro.

В процессе закачки и хранения CO_2 могут в основном реализовываться три сценария утечек CO_2 из мест его геологического хранения [9]:

- утечка из-за недостаточной герметичности породы-покрышки – это медленный процесс, который обычно будет заканчиваться минерализацией CO_2 по пути утечки;
- утечка по старым и новым скважинам, стволам и штрекам – эти процессы легко отслеживаются и предотвращаются;
- утечка через существующие разломы и трещины в горных пластах – при этом могут выходить на поверхность значительные объемы CO_2 и других газов.

Реализация первого сценария утечки CO_2 из-за недостаточной герметичности породы-покрышки происходит путем распространения сверхкритического CO_2 (вначале жидкого, а затем двухфазного) через пористые горные породы-покрышки. Оценки объемов утечек CO_2 по этому сценарию осуществляются методом численного моделирования термо-гидродинамических и механико-химических процессов с учетом реальных параметров и состава горных пород, расположенных над зоной хранения CO_2 .

Эти процессы протекают очень медленно (может пройти 100 или 1 000 лет пока химические продукты этих процессов достигнут грунтовых вод или поверхности), но крайне опасны для человека и окружающей среды (сверхкритический CO_2 , как жидкий, так и двухфазный, является очень эффективным растворителем горных пород и продукты таких химических реакций могут быть токсичными). А попадая в подземные воды, эти токсичные продукты могут существенно ухудшать их качество. Затем эти химические продукты и газообразный CO_2 достигают поверхности и могут негативно влиять на человека и окружающую среду.

Второй сценарий утечки CO_2 может реализоваться в районе выработанных и действующих месторождений нефти и газа. На Донбассе таких месторождений находится множество, часть из которых продолжает эксплуатироваться, а часть законсервирована или заброшена, хотя там еще остались углеводороды. Для повышения нефте- и газоотдачи пластов можно использовать инъекции CO_2 в рамках проектов по реализации технологий УХУ на Донбассе.

На рис. 6а показаны действующие газовые (ГМ), газоконденсатные (ГКМ), нефтегазоконденсатные (НГКМ), нефтегазовые (НГМ) и нефтяные (НМ) месторождения, которые расположены на площади перспективных участков геологического хранения CO_2 или вблизи них.

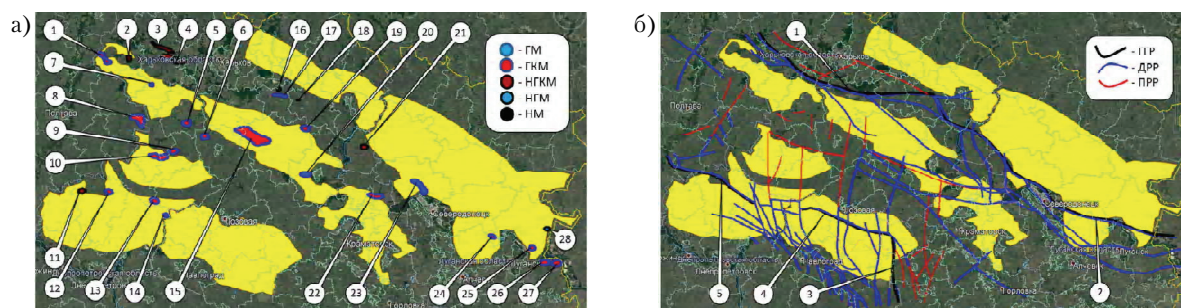


Рисунок 6 – Локализация месторождений нефти и газа (а), а также глубинных и региональных разломов (б).

На рис. 6а представлены следующие нефтяные и газовые месторождения Донбасса: 1 – Березовское ГКМ; 2 – Сахалинское НГКМ; 3 – Скворцовское НГКМ; 4 – Юльевское НГКМ; 5 – Мелиховское ГКМ; 6 – Ефремовское ГКМ; 7 – Коломакское ГМ; 8 – Зап.-Крестищенское ГКМ; 9 – Кегичевское ГКМ; 10 – Кобзевское ГКМ; 11 – Кременовское НГКМ; 12 – Пролетарское ГКМ; 13 – Богатойское ГКМ; 14 – Левенцовское ГКМ; 15 – Шебелинское ГКМ; 16 – Сев.-Коробочкинское НГМ; 17 – Коробочкинское ГКМ; 18 – Гашиновское НМ; 19 – Вишневецкое ГКМ; 20 – Спиваковское ГМ; 21 – Дружелюбовское НГКМ; 22 – Дробышевское ГКМ; 23 – Евгеньевское ГМ; 24 – Трехизбенское ГКМ; 25 – Кондрашевское ГКМ; 26 – Ольховское ГКМ; 27 – Марковское ГКМ; 28 – Львовское НГМ. Оценка вероятности утечки CO_2 через скважины действующих месторождений определена в табл. 3.

Для оценки вероятности реализации третьего сценария утечек CO_2 из перспективных участков геологического хранения CO_2 на Донбассе можно использовать информацию о расположении глубинных и региональных разломов, совмещенную с соответствующим слоем ГИС (рис. 6б), где показано расположение следующих глубинных геологических разломов (ГПР): 1 – Южно-Харьковский

Таблица 3 – Вероятность утечки CO₂ через скважины действующих месторождений

Номер участка хранения CO ₂ на рис. 16	12	13	14	15	16	17	18	19
Площадь перспективного участка в км ²	4 425	4 373	1 630	1 594	3 311	1 995	2 712	9 641
Площадь месторождений на участке в км ²	65,7	–	47,3	45,1	212,9	16,0	–	90,3
Вероятность утечки CO ₂ в %	1,5	–	2,9	2,8	6,4	0,8	–	0,9

разлом; 2 – Краснорецкий разлом; 3 – Криворожско-Павловский разлом; 4 – Юрьевский разлом и 5 – Голубовско-Михайловский разлом, а также других достоверных региональных (ДРР) и предполагаемых региональных (ПРР) разломов на перспективных участках геологического хранения CO₂.

Вероятность утечки CO₂ через разлом можно определить, как произведение длины разлома, которая проходит по перспективному участку геологического хранения CO₂, на его ширину. А если считать, что зона утечки CO₂ через геологические разломы имеет в среднем ширину в 1 км, то такая оценка представлена в табл. 4.

Таблица 4 – Вероятность утечки CO₂ через геологические разломы

Номер участка хранения CO ₂ на рис. 16	12	13	14	15	16	17	18	19
Площадь перспективного участка в км ²	4 425	4 373	1 630	1 594	3 311	1 995	2 712	9 641
Площадь возможных утечек CO ₂ в км ²	310	439	80	5	262	150	9	142
Вероятность утечки CO ₂ в %	7,0	10,0	4,9	0,3	7,9	7,5	0,3	1,5

В реальности утечка CO₂ может происходить и по другим сценариям или одновременно по нескольким. Для контроля процесса реализации технологии УХУ и обеспечения безопасности населения и окружающей среды на перспективных участках геологического хранения CO₂ необходимо осуществлять комплексный мониторинг как на поверхности этих участков, так и внутри геологических формаций.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

По результатам выполненных прикладных исследований и аналитических оценок можно сделать следующие выводы:

- на территории Донбасса расположено множество крупных источников эмиссии CO₂, в том числе тепловые электростанции и предприятия металлургической, коксохимической, цементной и химической отраслей;
- на территории Донбасса существуют геологические формации со значительным потенциалом, в которые может закачиваться сверхкритический CO₂ для целей его долговременного геологического хранения;
- через территории Донбасса проведено множество магистральных и распределительных трубопроводов газотранспортной системы Украины, которые могут быть после определенной модернизации использованы для транспортировки газообразного CO₂;
- экологические риски, которые могут возникнуть в случае утечек CO₂ из геологических хранилищ, могут учитываться и минимизироваться при реализации конкретных проектов реализации технологий УХУ на Донбассе.

Выполненное исследование экологических рисков позволит предусмотреть следующие мероприятия по реализации технологий УХУ на предприятиях и территориях Донбасса:

- совершенствование способов улавливания CO₂ на конкретных предприятиях различных отраслей промышленности и энергетики;
- модернизация газотранспортной системы и создание новых специальных трубопроводов для транспортировки как газообразного, так сверхкритического CO₂;
- выполнение широкомасштабных подготовительных геологических исследований на перспективных участках геологического хранения CO₂;
- создание системы мониторинга как подземной миграции CO₂, так и выхода его на поверхность почвы, в том числе средствами дистанционного зондирования Земли.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda [Text] / Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration and etc. – USA, Washington, DC : The National Academies Press, 2019. – 510 p.
2. COAL ATLAS: Facts and figures on a fossil fuel – 2015 [Text] / Heinrich Boll Foundation, Berlin, Germany, and Friends of the Earth International, London, UK. – Germany, Wurzburg : Phoenix Print GmbH, 2015. – 56 p.
3. Низко-углеродные возможности для промышленных регионов Украины [Текст] : монография / Н. С. Шеставин, Ф. В. Недопекін, В. В. Осетров, В. В. Юрченко. – Дружківка : Юго-Восток, 2015. – 239 с.
4. Рекомендації з впровадження технологій уловлювання і зберігання діоксиду вуглецю на сході України: науково-виробниче видання [Текст] / М. С. Шеставін, В. В. Осетров, В. В. Юрченко. – Дружківка : Юго-Восток, 2015. – 48 с.
5. Оценка возможностей геологического хранения CO_2 в осадочных отложениях Донбасса [Текст] / В. В. Осетров, Н. С. Шеставин, В. В. Юрченко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2012. – Вып. 6/7. – С. 43–49.
6. Исследование геологических пород, перспективных для секвестрации CO_2 , с использованием данных рентгеновской томографии на синхротроне [Текст] / А. Б. Ступин, М. В. Бескровная, В. В. Юрченко, М. Кобченко // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2012. – № 2(15). – С. 256–262.
7. Юрченко, В. В. Перспективы улавливания, транспортирования и геологического хранения CO_2 в Донбассе [Текст] / В. В. Юрченко // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности : материалы II Международной научно-практ. конф. (14 марта 2019 г., Санкт-Петербург) ; том 2. – Санкт-Петербург : Петровская академия наук и искусств, 2019. – С. 174–187.
8. Юрченко, В. В. Ранжирование экологических рисков реализации в Донбассе технологий улавливания, транспортировки и геологического хранения диоксида углерода [Текст] / В. В. Юрченко // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2019. – № 7(25). – С. 269–276.
9. Экологические риски геологического накопления диоксида углерода в Донбассе [Текст] / Ф. В. Недопекін, Н. С. Шеставин, В. В. Юрченко // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2019. – № 3. – С. 896–911.
10. Нормализованные разностные вегетационные индексы на перспективных участках геологического хранения диоксида углерода в Донбассе [Текст] / В. В. Юрченко, А. В. Несова, Ф. В. Недопекін, Н. С. Шеставин // Механика, управление и информатика : сб. трудов конф. (15–17 апреля 2019 г., Москва) ; под ред. А. М. Садовского. – М. : Институт космических исследований РАН, 2019. – С. 197–203.

Получено 14.10.2019

В. В. ЮРЧЕНКО, М. С. ШЕСТАВІН, Ф. В. НЕДОПЕКІН
ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ РЕАЛІЗАЦІЇ НА ДОНБАСІ ТЕХНОЛОГІЙ
ГЕОЛОГІЧНОГО ЗБЕРІГАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ
ДОНУ ВПО «Донецький національний університет»

Анотація. Пом'якшення наслідків глобальної зміни клімату можливо шляхом масштабної реалізації технологій уловлювання та зберігання діоксиду вуглецю (CO_2), який надходить в атмосферу від стаціонарних та рухомих джерел. Аналізуються можливості зберігання надкритичного CO_2 в геологічних формаціях Донбасу, які мають найбільший потенціал накопичення CO_2 в Європі. Визначено джерела емісії CO_2 , шляхи його транспортування і перспективні ділянки його геологічного зберігання. Виконано ранжування щодо ефективності і екологічної безпеки серед кластерів джерел емісії і ділянок зберігання. Оцінені ризики впливу витоків CO_2 на природне навколишнє середовище: поверхневі і підземні водні ресурси, різні типи ґрунтів і види рослинності. За допомогою супутникового моніторингу визначені поглинальні властивості рослинності на перспективних ділянках геологічного зберігання CO_2 в разі його витоків сховищ. Розглянуто три сценарії витоків CO_2 і оцінено їх вплив на навколишнє середовище.

Ключові слова: зміна клімату, діоксид вуглецю, геологічне зберігання CO_2 , витік CO_2 , водні ресурси, ґрунт, рослинність, екологічна безпека.

VIKTORIA YURCHENKO, NIKOLAY SHESTAVIN, FEDOR NEDOPEKIN
ECOLOGICAL RISKS OF IMPLEMENTATION AT THE DONBAS OF
TECHNOLOGIES OF GEOLOGICAL STORAGE OF CARBON DIOXIDE
Donetsk National University

Abstract. Mitigating the effects of global climate change is possible through large-scale implementation of technologies for capturing and storing carbon dioxide (CO_2), which enters the atmosphere from stationary

and mobile sources. The possibilities of storing supercritical CO₂ in the geological formations of the Donbas, which have the most significant potential for CO₂ storage in Europe, are analyzed. Sources of CO₂ emissions, ways of its transportation, and promising areas of its geological storage are determined. The performance and environmental safety ranking among clusters of emission sources and storage sites was performed. The risks of the influence of CO₂ leaks on the natural environment are assessed: surface and underground water resources, various types of soils and types of vegetation. Using satellite monitoring, the absorbing properties of vegetation in promising areas of geological storage of CO₂ were determined in the event of its leakage from storage facilities. Three scenarios of CO₂ leaks are considered and their impact on the environment is estimated.

Key words: climate change, carbon dioxide, geological storage of CO₂, CO₂ leakage, water resources, soil, vegetation, environmental safety.

Юрченко Вікторія Володимирівна – соискатель кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Научные интересы: программирование и расчетные эксперименты с гидродинамическими процессами в системах обеспечения экологической безопасности.

Шестакин Николай Степанович – кандидат технических наук, заведующий отделом научно-технической информации научно-исследовательской части ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Научные интересы: моделирование гидродинамических процессов в системах обеспечения экологической безопасности.

Недопекин Федор Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Научные интересы: физическая гидродинамика в металлургии, теплоэнергетике и экологии.

Юрченко Вікторія Володимирівна – здобувач кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології та екології ДОНУ ВПО «Донецький національний університет». Наукові інтереси: програмування і розрахункові експерименти з гідродинамічними процесами в системах забезпечення екологічної безпеки.

Шестакин Микола Степанович – кандидат технічних наук, завідувач відділу науково-технічної інформації науково-дослідної частини ДОНУ ВПО «Донецький національний університет». Наукові інтереси: моделювання гідродинамічних процесів в системах забезпечення екологічної безпеки.

Недопекін Федір Вікторович – доктор технічних наук, професор кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології та екології ДОНУ ВПО «Донецький національний університет». Наукові інтереси: фізична гідродинаміка в металургії, теплоенергетиці та екології.

Yurchenko Viktoria – applicant, Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology Department, Donetsk National University. Scientific interests: programming and computational experiments with hydrodynamic processes in environmental safety systems.

Shestavin Nikolay – Ph. D. (Eng.), Head of the Department of Scientific and Technical Information of the Research Section of Donetsk National University. Scientific interests: modeling of hydrodynamic processes in environmental safety systems.

Nedopekin Fedor – D. Sc. (Eng.), Professor, Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology Department, Donetsk National University. Scientific interests: physical hydrodynamics in metallurgy, power system and ecology.

УДК 504.054:628.4.08

О. Н. КАЛИНИХИН

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

ПРИРОДООХРАННЫЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Аннотация. Повышение стоимости энергоносителей требует перехода на новые технологии использования твёрдых топлив, и в частности технологию производства и сжигания водоугольного топлива. Перспективность данного топливного ресурса обусловлена как высокой доступностью его компонентов для отечественной энергетики, так и наличием значительного количества практических разработок, связанных с процессом внедрения данной технологии. При этом представляет интерес природоохранный аспект данной проблемы, связанный с изменением состава выбросов предприятий, переходящих на данный вид топлива. В представленной работе приведены результаты расчёта рассеивания выбросов тепловой электростанции по результатам внедрения данной технологии. Показано влияние специфики сгорания водоугольной смеси на состав выброса газов сжигания. Выявлены количественные и качественные изменения состава выбросов, связанные с внедрением новой технологии.

Ключевые слова: водоугольное топливо, выбросы, расчёт рассеивания, концентрация, тепловая электростанция.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Повышение уровня экологических нормативов в совокупности с необходимостью поиска дополнительных источников энергии в условиях роста цен импортируемых энергоносителей в экономике стимулируют разработку и использование новых технологий использования отечественного твёрдого топлива в теплоэнергетике и смежных областях. К соответствующим технологиям, безусловно, следует отнести технологию сжигания водоугольного топлива (ВУТ). При этом особый интерес представляет природоохранный аспект вовлечения ВУТ в энергетический баланс крупных тепло- и энергогенерирующих предприятий, в частности анализ влияния на количественный и качественный состав выбросов загрязняющих веществ процесса замены штатного твёрдого топлива на ВУТ.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

ВУТ – дисперсная топливная система (суспензия), состоящая из частиц угля, воды и при необходимости растворимых в воде химических добавок. Размер частиц угольной пыли, составляющих ВУТ, составляет от 50 до 200 мкм. Соотношение мелкодисперсной угольной пыли и воды составляет 70:30. В основе процесса производства данного вида топлива лежит химическая активация его начальных компонентов, полное разрушение структуры угля, как природной горной массы [1, 2].

Прежде всего, ВУТ может использоваться в теплоэнергетике для замены природного газа, жидких нефтепродуктов и угля как штатное топливо с целью уменьшения себестоимости генерации электрической и тепловой энергии, а также в качестве дополнительного топлива при совместном сжигании с основным с целью повышения полноты выгорания углерода.

Сжигание ВУТ обладает рядом преимуществ перед сжиганием обычных пылеугольных смесей: проверка технологии производства ВУТ в лабораторных условиях показывает, что производство данного вида топлива обладает малой энергоёмкостью, безотходностью, пожаро- и взрывобезопасностью и основывается на использовании серийно выпускающегося оборудования; стоимость топлива в пересчёте на тонну условного топлива не превышает 15...20 % цены исходного угля и ниже цены мазута в 2–4 раза; ВУТ простое в эксплуатации и не требует значительных изменений в конструкции котлоагрегатов, требуется лишь установка форсунки для распыления водоугольной смеси, на данном топливе

© О. Н. Калинихин, 2019

могут работать практически любые котлы [3, 4]. Таким образом, вопрос использования ВУТ в энергетических процессах становится всё более актуальным.

Цель работы – оценить влияние внедрения технологии сжигания ВУТ на количественные и качественные показатели выбросов тепловых электростанций.

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

- 1) проанализировать процесс получения и сжигания ВУТ;
- 2) используя сертифицированную методику произвести расчёт качественных и количественных показателей пылегазовых выбросов при сжигании ВУТ;
- 3) на примере тепловой электростанции с применением специализированных программных комплексов отследить характер изменений в рассеивании пылегазовых выбросов, связанных с внедрением технологии сжигания ВУТ.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

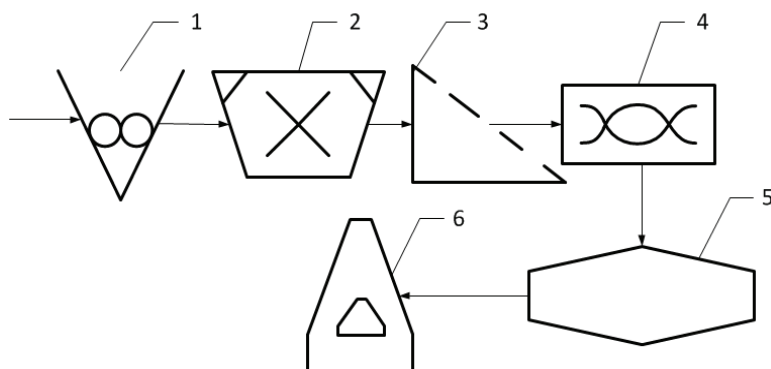


Рисунок 1 – Технологическая схема производства водоугольного топлива: 1 – валковая дробилка; 2 – вибрационная мельница; 3 – вибрационный грохот; 4 – смеситель; 5 – цистерна для хранения водоугольного топлива; 6 – подача топлива в котлоагрегат.

Производство ВУТ сводится к двум последовательным этапам (рисунок 1):

- 1) измельчение каменного угля до частиц размером не более 0,2 мм;
- 2) смешивание полученных частиц с водой.

В процессе производства ВУТ могут использоваться любые марки угля, а также угольные шламы. Для производства ВУТ может быть использована вода любого качества от сточных вод до воды, загрязнённой нефтепродуктами для которой очистка другими методами практически невозможна. При сжигании водоугольного топлива одновременно протекает процесс очистки большого количества воды. Органические соединения, находящиеся в воде, сгорают, соли выпадают в устройство золовыделения, а дистиллят из трубы поступает в атмосферный воздух, включаясь в природный круговорот воды. Водоугольное топливо хранится в резервуарах аналогичным резервуарам для хранения нефтепродуктов. Резервуары для хранения ВУТ не требуют специальных противопожарных устройств и не представляют угрозу в случае аварийных ситуаций.

Процесс возгорания ВУТ при правильной организации сжигания начинается сразу же после его распыления форсункой в котлоагрегате. Интенсивный поток водяного пара от поверхности частиц топлива в значительной степени препятствует диффузии кислорода воздуха к частицам топлива и существенно сдерживает теплообмен основной массы топлива и окружающей среды. Основными продуктами реакции горения с водяным паром являются моноксид углерода и водород, которые сразу же на поверхности капель ВУТ вступают в реакцию с кислородом и окисляются до диоксида углерода и водяного пара. Данный механизм горения ВУТ в совокупности с гетерогенными реакциями на поверхности капель топлива приводит к образованию только полных оксидов по завершению процесса горения.

Таким образом, анализ процесса получения и сжигания ВУТ указывает на наличие очевидных природоохранных преимуществ в сравнении с существующими технологиями по сжиганию пылеугольных смесей.

Наиболее перспективным представляется внедрение данной технологии на крупных энергетических предприятиях, где конечный эффект от её внедрения может достигать наибольших величин. Поэтому дальнейшая работа была направлена на калькуляцию и сравнение величин выбросов загрязняющих веществ при работе типовой тепловой электростанции по стандартной схеме сжигания пылеугольных смесей и сжиганию ВУТ.

В качестве показателей, необходимых для расчёта выбросов загрязняющих веществ, использовались технические характеристики тепловой электростанции «Зуевская». Данное предприятие, одно

из самых высокопроизводительных в восточной Европе, является типичным примером предприятия энергетического комплекса, где вопросу введения в эксплуатацию нового и более эффективного оборудования до сих пор не уделялось достаточного внимания прежде всего по причине недостаточного финансирования. Исходя из количества сжигаемого ежегодно на электростанции угля марки ГР (2440758 т) и данных технического анализа угля и ВУТ [5, 6] (таблица 1) в соответствии с методикой [7] был произведён расчёт величин валовых выбросов загрязняющих веществ при работе тепловой электростанции.

Таблица 1 – Показатели технического анализа топливной загрузки

Показатели технического анализа топливной загрузки	Каменный уголь марки ГР	ВУТ
Общее содержание влаги в топливе, % масс.	12,00	35,00
Зольность топлива на сухую массу, % масс.	13,21	11,03
Содержание углерода в топливе, % масс.	60,45	43,62
Содержание общей серы в топливе, % масс.	2,21	1,60
Рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг	26,00	27,00

Расчёт величины валового выброса загрязняющих веществ проводился по четырём компонентам: веществам в виде суспендированных частиц, оксиду углерода, диоксиду азота, диоксиду серы. На долю данных компонентов приходится 99 % выброса нормируемых загрязняющих веществ. Результаты расчёта валовых выбросов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика валовых выбросов при сжигании угля и ВУТ, т/год

Наименование загрязняющего вещества	Каменный уголь марки ГР	ВУТ
Вещества в виде суспендированных частиц	4 460,10	693,50
Оксид углерода	570,20	96,19
Диоксид азота	6 628,90	4 711,51
Диоксид серы	58 349,70	39 694,41

Результаты расчёта указывают на значительное уменьшение валового выброса загрязнителей при переходе от сжигания пылеугольных смесей на сжигание ВУТ. Наибольшая величина снижения выброса наблюдаются по таким компонентам как: вещества в виде суспендированных частиц в 6,5 раз, оксид углерода 6 раз. Наблюдаемые изменения могут быть объяснены изъятием балластных составляющих топлива на этапе подготовки ВУТ и полным выгоранием углерода в топливной смеси.

Последующая работа была направлена на анализ изменения концентраций загрязняющих веществ по результатам внедрения технологии ВУТ. Применение специализированного программного комплекса ЭОЛ + (номер лицензии № 3536) позволило отследить динамику концентраций загрязнителей как в устье трубы источника, так и на границе санитарно-защитной зоны предприятия. Расчёт рассеивания проводился для источника с характеристиками, представленными в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика источника выброса загрязняющих веществ

Наименование показателя	Величина
Высота, м	330
Диаметр, м	11,4
Объёмный расход газовой смеси, м ³ /с	1 792,4
Скорость, м/с	11,3
Температура выброса, °С	120
Величина санитарно-защитной зоны, м	1 000

Результаты расчёта рассеивания загрязняющих веществ позволяют не только сравнить два варианта сжигания топливной загрузки, но и произвести сравнение величины концентрации в устье источника с текущими технологическими нормативами [8] (таблица 4).

Таблица 4 – Сравнительная характеристика концентрации загрязняющих веществ в устье источника выделения при сжигании угля и ВУТ, мг/м³

Наименование загрязняющего вещества	Уголь ГР	ВУТ	Норматив допустимой концентрации в выбросе
Вещества в виде суспендированных частиц	190,1	16,4	400
Оксид углерода	53,4	2,3	250
Диоксид азота	5 092,3	939,2	5 100
Диоксид серы	1 872,1	11,5	1 300

Как следует из полученных результатов, внедрение технологии производства и сжигания ВУТ, в сравнении со сжиганием пылеугольных смесей, позволяет достичь технологического норматива допустимой концентрации загрязнителя в выбросе. При этом значительное уменьшение концентрации, связанное с внедрением технологии производства и сжигания ВУТ, делает актуальным вопрос о возможности ужесточения технологического норматива.

Анализ карт рассеивания загрязняющих веществ полученных по результатам расчётов в программе ЭОЛ + производился исходя из требований природоохранного законодательства, согласно которому концентрация загрязняющего вещества на границе санитарно-защитной зоны должна быть меньше либо равной величине среднесуточной предельно допустимой концентрации вещества.

Результаты анализа расчёта рассеивания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительная характеристика концентрации загрязняющих веществ на границе санитарно-защитной зоны, единицы ПДК

Наименование вещества	Концентрация на границе санитарно-защитной зоны	
	Уголь марки ГР	Уголь марки ГР
Диоксид азота	3,04	0,21
Диоксид серы	1,47	0,30
Оксид углерода	0,0015	0,000073
Вещества в виде суспендированных частиц	0,12	0,0087

Полученные результаты однозначно указывают на то, что только процесс сжигания ВУТ, в отличие от сжигания пылеугольных смесей, обеспечивает соблюдение природоохранного норматива концентрации загрязняющих веществ на границе санитарно – защитной зоны.

ВЫВОДЫ

Анализ процесса получения и сжигания ВУТ указывает на то, что предварительная подготовка топливной смеси, выведение из её состава балластной составляющей, а также специфический механизм сгорания смесей позволяют обеспечить практически полное выгорание углерода топлива при одновременном снижении выбросов диоксида азота.

Расчёт величины валового выброса загрязняющих веществ показывает уменьшение выброса загрязнителей при переходе от сжигания пылеугольных смесей на сжигание ВУТ. Наибольшая величина снижения выброса наблюдается по таким компонентам, как: вещества в виде суспендированных частиц в 6,5 раз, оксид углерода 6 раз. Расчёт рассеивания загрязняющих веществ показывает, что производство и сжигание ВУТ, в сравнении со сжиганием пылеугольных смесей, позволяет достичь технологического норматива допустимой концентрации загрязнителя в выбросе. При этом только сжигание ВУТ обеспечивает соблюдение природоохранного норматива концентрации загрязняющих веществ на границе санитарно – защитной зоны.

Таким образом, внедрение технологии производства и сжигания ВУТ является одной из первоочередных задач, стоящих перед энергетической отраслью, решение которой позволит не только снизить долю импортируемых энергоносителей, но и существенно снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ

1. Thermal solid waste utilisation in regular and industrial facilities [Text] / L. V. Pawlowski, M. R. Dudzinska, M. A. Gonzalez. – New York : Springer International Publishing, 2000. – 474 p. – ISBN 978-1-4615-4213-1.

2. Branchini, L. Waste-to-Energy Advanced Cycles and New Design Concepts for Efficient Power Plants [Text] / L. Branchini. – Bologna : Springer International Publishing, 2015. – 143 p. – ISBN978-331913607.
3. Российский опыт внедрения промышленной технологии производства водоугольного топлива [Текст] / С. И. Мосин, А. Г. Морозов, Г. Н. Делягин // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 9. – С. 162–168.
4. Производство и использование водоугольного топлива. [Текст] / В. Е. Зайденварг, К. Н. Трубецкой, В. И. Мурко, И. Х. Нехороший. – М. : изд-во Академии горных наук, 2011. – 173 с.
5. Тайц, Е. М. Методы анализа и испытания углей [Текст] / Е. М. Тайц, И. А. Андреева. – М. : Недра, 1983. – 380 с.
6. Редькина, Н. И. Технология приготовления и физико-химические свойства водо-угольной суспензии [Текст] / Н. И. Редькина, Г. С. Ходаков. – М. : изд-во МНПО «Гидро-трубопровод», 1991. – 286 с.
7. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ при сжигании водоугольного топлива [Текст] / А. И. Финягин, И. Х. Володарский, Г. А. Филиппов, Г. Н. Делягин и др. – М. : изд-во МНПО «Гидротрубопровод», 1990. – 42 с.
8. Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт [Текст] : наказ № 541 від 22.10.2008 р. / М-во юстиції України. – К. : Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, 2008. – 16 с.

Получено 30.09.2019

О. М. КАЛІНІХІН
ПРИРОДООХОРОННІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
СПАЛЮВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА
ДОНЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Анотація. Підвищення вартості енергоносіїв вимагає переходу на нові технології використання твердих палив, і зокрема технологію виробництва і спалювання водовугільного палива. Перспективність даного паливного ресурсу зумовлена як високою доступністю його компонентів для вітчизняної енергетики, так і наявністю значної кількості практичних розробок, пов'язаних з процесом впровадження даної технології. При цьому становить інтерес природоохоронний аспект даної проблеми, пов'язаний зі зміною складу викидів підприємств, які переходять на даний вид палива. У представленій роботі наведені результати розрахунку розсіювання викидів теплової електростанції за результатами впровадження даної технології. Показано вплив специфіки згоряння водовугільної суміші на склад викиду газів спалювання. Виявлено кількісні і якісні зміни складу викидів, пов'язані з впровадженням нової технології.

Ключові слова: водовугільне паливо, викиди, розрахунок розсіювання, концентрація, теплова електростанція.

OLEG KALINIHIN
ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGY
FOR BURNING COAL-FIRED FUEL
Donetsk National Technical University

Abstract. Increasing the cost of energy requires a transition to new technologies for the use of solid fuels and, in particular, the technology for the production and burning of coal-water fuels. The prospects of this fuel resource are dependent on both the high availability of its components for domestic energy and the presence of a significant number of practical developments related to the implementation of this technology. At the same time, the environmental aspect of these problems of interest, associated with a change in the composition of emissions of enterprises switching to this type of fuel. This work presents the results of calculating the dispersion of emissions from a thermal power plant based on the results of the implementation of this technology. The influence of the specifics of combustion of a water-coal mixture on the composition of the emission of combustion gases is shown. Quantitative and qualitative changes in the composition of emissions associated with the introduction of a new technology are revealed.

Key words: coal-water fuel, emissions, dispersion calculation, concentration, thermal power station.

Калинин Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: процессы переработки твердых бытовых отходов, повышение эффективности конверсии твердого топлива.

Калініхін Олег Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та охорони навколишнього середовища ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: процеси переробка твердих побутових відходів, підвищення ефективності конверсії твердого палива.

Kalinihin Oleg – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Applied Ecology and Environmental Protection Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: solid waste processing, increase of solid fuel conversion efficiency.

УДК 697.92

Б. В. КЛЯУС, Д. В. ВЫБОРНОВ, А. В. ПЛУЖНИК

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИТОЧНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТРУЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ

Аннотация. В данной статье рассмотрен математический аппарат, который описывает течение настилающей струи на твёрдую поверхность. Проанализированы теоретические и эмпирические исследования авторов в области применения эффекта Коанда. Рассмотрена зависимость возникновения эффекта Коанда от угла истечения струи на твёрдую поверхность и отношения геометрических параметров прямоугольного сопла, а также рассмотрен метод интенсификации при истечении потока через сопло. Рассмотрены различные отопительно-вентиляционные устройства, в которых применяется эффект Коанда. Необходимо исследовать различные воздухораспределяющие насадки для выбора наиболее целесообразных конструкций и экономии энергозатрат на обеспечение рабочей зоны приточным воздухом, а также добиваться достижения наиболее комфортных параметров микроклимата в рабочей зоне помещений, в том числе производственных помещений высотой шесть и более метров, что обуславливает мультизональность при нормировании параметров микроклимата.

Ключевые слова: воздушный поток, эффект Коанда, воздухораспределение, микроклимат.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сложность обеспечения микроклимата в производственных помещениях с большой высотой, обусловленной технологическим процессом и перемещаемыми машинами и механизмами, заключается в первую очередь в том, что следует выделять рабочую зону в помещении, где нормируются параметры микроклимата, и оставшуюся часть, где возможны отклонения от допустимых параметров. При этом зачастую требуемая температура в рабочей зоне обеспечивается системами воздушного отопления и параметры приточных отопительно-вентиляционных струй должны иметь важное значение как с точки зрения энергозатрат на обеспечение работы систем, так и с учетом выбора наиболее рациональной схемы воздухораспределения и воздухообмена в рабочей зоне производственных помещений.

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

ЦЕЛЬ

Анализ влияния параметров формирования приточных вентиляционных струй на показатели микроклимата в помещении.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В 1932 году румынский учёный Анри Коанда обнаружил, что струя жидкости, вытекающая из сопла, стремится отклониться по направлению к стенке и при определенных условиях настигается вдоль неё, данное явление было названо эффектом Коанда, также в литературе можно столкнуться с

такими названиями как: настилающая струя, пристеночная струя и пристеночные струйные течения, которые и характеризуют это явление [1].

Эффект Коанда объясняется тем, что боковая стенка, ограничивая струю, создаёт вихрь в зоне пониженного давления и препятствует свободному поступлению воздуха к одной из сторон струи. Данное явление распространяется и на поведение струи газообразного тела.

В аэродинамике используется модель, которая основывается на слоях воздуха, имеющих одинаковую скорость движения. Данная модель демонстрирует, что трение между твёрдой поверхностью и настилающимися на неё слоями потока воздуха меньше, чем между слоями потока воздуха, не ограниченными твёрдой поверхностью. На достаточно большом расстоянии от поверхности обязательно появится слой с почти нулевой скоростью течения относительно рассматриваемой твёрдой поверхности. Данное явление указывает на то, что скорость настилающихся слоёв потока на твёрдую поверхность выше, чем на некотором удалении от поверхности. А согласно закону Бернулли, более медленные слои воздуха оказывают большее поперечное давление, чем слои, которые движутся быстрее. Воздушный поток испытывает поперечное давление со стороны более медленных в сторону более быстрых слоёв. Ввиду чего весь поток отклоняется в сторону твёрдой поверхности, которая его ограничивает.

Истечение струи на стенку часто осуществляется в области, где толщина пограничного слоя близка к толщине нагнетающего воздухораспределительного устройства или намного превосходит её. Наличие пограничного слоя на кромке воздухораспределительного устройства может оказать заметное влияние на развитие течения.

По мере удаления от начального сечения струя начинает смешиваться с турбулентным потоком, вследствие чего на стенке, вдоль которой распространяется струя, нарастает пограничный слой.

В сечении, где осуществляется смыкание струйного пограничного слоя с пограничным слоем на стенке, заканчивается начальный участок течения. При дальнейшем увеличении расстояния от воздухораспределительного устройства скорость на внешней границе пограничного слоя изменяется, стремясь достичь величины скорости турбулентного потока.

Основными параметрами, от которых зависит развитие пристеночной струи, являются: отношение скоростей, отношение плотностей, число Рейнольдса, число Маха турбулентного потока, относительная толщина пограничного слоя на кромке воздухораспределительного устройства, градиент давления во внешнем потоке dp/dx .

Область практического использования пристеночных струй очень широка. Однако наиболее часто пристеночные струи используются для создания пленочного заградительного охлаждения стенки.

На данный момент эффект Коанда в промышленности используют в основном в двух случаях (рис. 1) с внешне формируемой струей (а) и с внутренне формируемой струей (б).

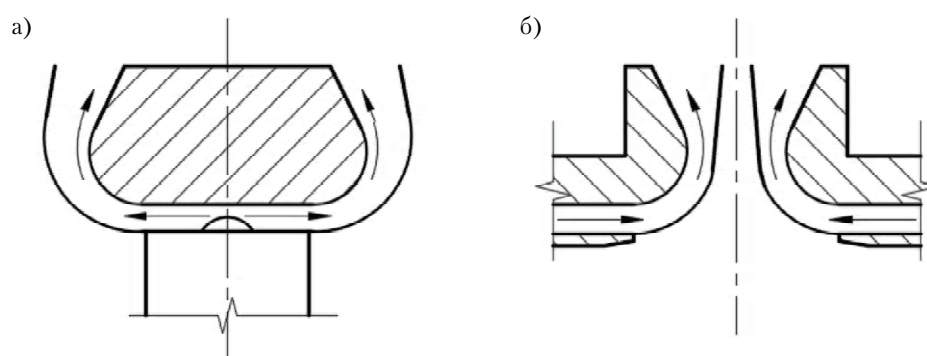


Рисунок 1 – Формирование струй вблизи обтекаемых тел вследствие эффекта Коанда [2]: а) с наружно формируемой струей; б) с внутренне формируемой струей.

Обеспечение необходимого и постоянного качества микроклимата в рабочих зонах всех помещений требует нового подхода к воздухораспределению. Правильный выбор достижения поставленных целей позволит решить множество важных как локальных, так и глобальных задач и проблем, к которым относятся: проблемы энергосбережения, рассматриваемые в работах [3, 4], а также влияние изменений параметров микроклимата рабочей зоны помещений на организм человека, описанные в работе [5].

Основным математическим аппаратом, применяемым при описании подобных моделей, является система уравнений Навье-Стокса, уравнение сохранения массы, внутренней энергии, а также уравнение состояния [2]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho U) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho U U) = \frac{\partial P}{\partial x} + \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} U) + S'_{Mx}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho V)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho V U) = \frac{\partial P}{\partial x} + \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} V) + S'_{My}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho W)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho W U) = \frac{\partial P}{\partial x} + \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} W) + S'_{Mz}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho e U) = -P \operatorname{div} U + \operatorname{div}(k \operatorname{grad} T) + \Phi + S'_e, \quad (5)$$

$$P = \rho RT, \quad y = C_v T, \quad (6)$$

где U, V, W – компоненты мгновенной скорости в системах координат x, y, z ;

U – вектор скорости, м/с;

S'_i – характеристика выбросов;

ρ – плотность, кг/м³;

t – время, с;

μ – динамическая вязкость, (Н·с)/м²;

e – внутренняя энергия на единицу массы, Дж/кг;

P – статическое давление, Па;

k – турбулентная кинетическая энергия, Дж/кг;

Φ – функция рассеивания, с⁻²;

T – термодинамическая температура, К;

R – универсальная газовая постоянная, кДж/(кг·К);

C_v – удельная теплоёмкость при постоянном объёме, кДж/(кг·К).

В отдельных работах [6] авторами были рассмотрены характерные особенности организации систем отопления и вентиляции в общественных помещениях. Был произведен анализ существующих требований к параметрам микроклимата помещений физкультурно-оздоровительных комплексов различного назначения. Рассмотрены основные принципы математического моделирования, основанные на решении уравнения Навье-Стокса и методе конформных отображений. Выявлены основные достоинства и недостатки данных методов. Рассмотрены водяные и электрические плинтусные радиаторы. Затронуты вопросы выбора того или иного материала при изготовлении плинтусных систем. Выявлены основные достоинства и недостатки данной системы отопления.

Методы достижения требуемой эффективности воздухораспределения и выбора воздухораспределителей хорошо известны. Однако существует проблема достижения комфорта на рабочих местах. Данный вопрос можно решить, правильно распределяя потоки воздуха. Наиболее эффективно

это можно сделать благодаря эффекту Коанда. Было установлено, что эффект Коанда повышает дальность приточных струй примерно на 20 %. Для осуществления эффекта Коанда необходимо, чтобы фактическая скорость воздушной струи на выходе из диффузора была выше 2 м/с [7].

Авторы [8] приводят результаты экспериментов, в процессе которых для струй из прямоугольных сопел изучалась зависимость степени проявления эффекта Коанда от геометрических параметров сопел и от угла выдува струй к плоской поверхности. Согласно экспериментальным данным степень проявления эффекта Коанда увеличивается с уменьшением угла выдува α_r и ростом удлинения выходного сечения сопла l/δ (рис. 2). При $\alpha_r = 20, 30$ и 40° при достижении определенных значений l/δ струя прилипает к поверхности. При $\alpha_r = 50^\circ$ струя при увеличении l/δ отклоняется в сторону пластины, но не прилипает к ней. При $\alpha_r = 70^\circ$ струя не отклоняется для всего исследованного диапазона изменения l/δ .

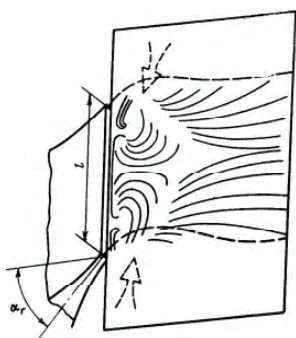


Рисунок 2 – Схема обтекания пластины.

Интенсификацию эффекта Коанда с помощью вводимых в струю продольных вихрей описали авторы работы [9], которые рассматривают способ истечения пристеночных струй из осесимметричных сопел. Сущность способа заключается в том, что на кромках сопла располагаются вихреобразователи – источники сходящих в струю продольных вихрей [10]. Эти вихри деформируют поперечное сечение струи, придавая ей форму, близкую к прямоугольной или эллиптической, при которой и реализуется эффект Коанда. Исследуется не только возможность предложенного способа, но и изучается эффективность одновременного использования вихреобразователей и деформации струи при натекании ее на препятствие [9].

Компания REOL делится опытом использования эффекта Коанда в устройстве вихревого диффузора. Принцип работы заключается в формировании закрученной струи воздушного потока. В данном случае распределение воздуха происходит в виде струи, которая закручивается подобно вихрю. Такая особенность способствует увеличению коэффициента эжекции рабочей воздушной массы в обслуживаемой зоне относительно приточного воздушного потока. Использование вихревых диффузоров направлено на повышение интенсивности уменьшения скорости и стабилизацию температуры воздушной струи относительно температуры помещения. Вихревая подача приводит к тому, что температура струи стабилизируется через короткий промежуток времени после выхода из распределителя воздуха. Вихревые распределители воздуха имеют направляющие лопатки, благодаря которым образуются радиальные струи воздуха. При сборе в выпускной части воздухораспределителя струи оказываются в горизонтальном направлении. Центральная часть струи является зоной разрежения, в которую попадает находящаяся внизу помещения воздушная масса. В случае расположения воздухораспределителя прямо под потолочной поверхностью создается эффект Коанда, сопровождающийся концентрацией воздушных струй в самой верхней области. Находящиеся в распределителях воздуха лопатки фиксируются или же регулируются независимым образом. Если регулировка происходит независимо, появляется возможность разнонаправленной регулировки и изменения конфигурации струи воздушной массы в нужную сторону [11].

В работе [12] авторы произвели анализ устройства и принципов функционирования плинтусных систем отопления. Были рассмотрены водяные и электрические плинтусные радиаторы. Затронуты вопросы выбора того или иного материала при изготовлении плинтусных систем. Выявлены основные достоинства и недостатки данной системы отопления.

Автор статьи [14] предлагает использование принципа рециркуляции эжектируемого воздуха для снижения требуемой производительности систем аспирации с использованием эффекта Коанда (рис. 3).

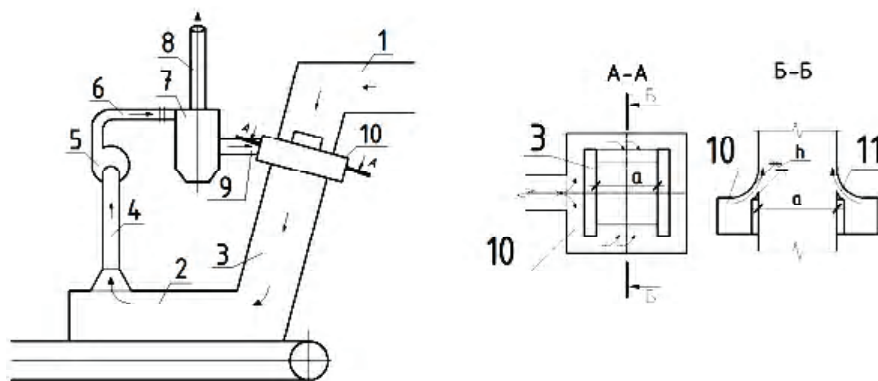


Рисунок 3 – Принципиальная схема аспирационной системы с принудительной рециркуляцией: 1 – верхнее аспирационное укрытие; 2 – нижнее укрытие; 3 – перегрузочный желоб; 4 – аспирационный патрубок; 5 – вентилятор; 6 – напорный патрубок; 7 – аппарат пылеочистки (циклон-пылеканцетратор); 8 – отвод очищенного воздуха; 9 – обводная труба; 10 – распределитель воздушно-пылевого концентрата; 11 – коандовские воздушные каналы.

В ходе проведения эксперимента были выявлены факторы, влияющие на работу рассматриваемой конструкции: радиус закругления Коандовского канала; скорость подаваемого воздуха в сечении Коандовского канала; высота Коандовского канала; ширина перегрузочного желоба [14].

Эжекционные доводчики компании «Technoheat» являются климатическими приборами, назначение которых – децентрализованный обогрев или охлаждение воздуха в помещении посредством

наружного приточного воздуха без применения вентиляторов. Это multifunctional климатический агрегат без вентилятора. Первичный приточный наружный воздух от центрального или локального приточного агрегата через входной патрубок поступает в камеру первичного воздуха. Затем через отверстия в блоке эжектирующих сопел попадает в смешительную камеру, создавая в ней эффект эжекции. В результате эжектирующего действия воздух из помещения засасывается в смешительную камеру через теплообменник, нагревается или охлаждается в зависимости от заданного режима работы [13].

Остановимся теперь на результатах теоретического исследования пристеночных струй, распространяющихся в турбулентном потоке. Неавтомодельность течения, а также большое количество параметров, влияющих на него, затрудняет возможности получения аналитического решения, описывающего течение во всей полноте. Суть различных подходов к расчету распространения пристеночной струи интегральными методами заключается в выделении из сложного неавтомодельного поля течения областей, для которых течение можно считать условно автомодельным, рассматривать эти области отдельно, а потом соединять решения.

В [15] при расчете пристеночной струи, истекающей в затопленное пространство, предполагается, что одно и то же автомодельное решение не может описывать все поле течения. Поле течения делится на струйный слой и пристеночный слой и исследование этих областей производится раздельно.

Наиболее перспективным методом для расчета пристеночной струи, распространяющейся в турбулентном потоке, представляется метод численного интегрирования системы газодинамических уравнений, записанных в приближении пограничного слоя, и использование для замыкания этой системы какой-либо модели турбулентности, из которой можно определить входящую в систему газодинамических уравнений турбулентную вязкость.

ВЫВОД

Исходя из приведенного выше материала можно сделать вывод о необходимости экспериментального исследования различных конструкций воздухораспределителей для выбора наиболее целесообразных решений отопительно-вентиляционных систем промышленных зданий с учетом энергосбережения путем сокращения энергозатрат на комфортное воздухораспределение в рабочей зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория турбулентных струй [Текст] / Г. Н. Абрамович, Т. А. Гиршович, С. Ю. Крашенинников, А. Н. Секундов и др. – М.: «НАУКА», 1984. – 718 с.
2. Cutbill, S. A study of the turbulent flow of a high speed Coanda jet [Text] : a thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy Durham theses / S. Cutbill. – [N. c.] : Durham University, 1998. – 272 p.
3. Выборнов, Д. В. Проблемы энергосбережения промышленных зданий [Текст] / Д. В. Выборнов, Б. В. Кляус // Научный журнал «Вестник академии гражданской защиты», АГЗ МЧС ДНР, 2018. – Вып. 4(16). – С. 96–102.
4. Анализ потенциала энергосбережения в зданиях промышленного назначения [Текст] / Б. В. Кляус, Д. В. Выборнов, А. В. Плужник // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова»: сб. докл. III Междунар. научно-техн. конф. (29-30 ноября 2018 г., Белгород); секция «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» Энергосбережение и энергоэффективность, экология энергетики». – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2018. – С. 141–149.
5. Влияние изменений параметров микроклимата рабочей зоны помещений на организм человека [Текст] / Б. В. Кляус, Д. В. Выборнов, А. В. Плужник // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2018. – Вып. 2018-5(133) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 26–30.
6. Характерные особенности организации систем отопления и вентиляции в общественных помещениях [Текст] / Е. В. Плаксина, Е. О. Кшевинская, Е. А. Лавлинская // Научный журнал «Инженерные системы и сооружения». – 2015. – № 3(20). – С. 77–83.
7. Афанасьев, С. М. Эффект Коанда для задач воздухораспределения [Текст] / С. М. Афанасьев, А. Б. Сулин // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: Материалы VIII Международной научно-технической конференции (15–17 ноября 2017 г., Санкт-Петербург). – СПб.: Издательство: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017. – С. 177–179.
8. Эффект Коанда при выдуве струй из прямоугольных сопел под углом к плоской поверхности [Текст] / Г. А. Ганич, Н. А. Гущина, Ю. Г. Жулев // Ученые записки ЦАГИ. – 1994. – Т. XXV, № 3–4. – С. 121–125.
9. Интенсификация эффекта Коанда с помощью вводимых в струю продольных вихрей [Текст] / Ю. Г. Жулев, В. А. Макаров, А. Г. Наливайко // Ученые записки ЦАГИ. – 1994. – Том XXVII, № 1–2. – С. 100–104.

10. Наливайко, А. Г. Способ воздействия на форму и размываемость затопленной струи, истекающей из осесимметричного сопла [Текст] / А. Г. Наливайко. – М. : ЦАГИ, 1991. – 14 с.
11. Распределение воздушных потоков при помощи вихревых диффузоров [Электронный ресурс] // REOL. – Режим доступа : <http://www.reol.com.ua/raspredelenie-vozdushnykh-potokov-pri-pomoshhi-vixrevykh-diffuzorov/>.
12. Плаксына, Е. В. Анализ особенностей плитусных систем отопления [Текст] / Е. В. Плаксына, Т. Л. Борисова // Научный журнал «Инженерные системы и сооружения». – 2014. – № 3(16). – С. 8–14.
13. Рециркуляционные энергоэффективные системы аспирации с использованием эффекта Коанда [Текст] / В. М. Киреев, В. А. Минко, А. Б. Гольцов, А. И. Болгов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова : сборник докладов III Международной научно-технической конференции ; секция «Энергосбережение и энергоэффективность, экология энергетики». – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2018. – С. 141–149.
14. Доводчики эжекционные [Электронный ресурс] // TechnoHeat. – [2012–2018]. – Режим доступа : <http://technoheat.ru/ezheksionnye-dovodchiki/dovodchiki-ezheksionnye.html>.
15. Glauert, H. E. Thewalljet [Text] / H. E. Glauert // J. FluidMech. – 1956. – V. 1. – P. 625–643.

Получено 09.10.2019

Б. В. КЛЯУС, Д. В. ВИБОРНОВ, А. В. ПЛУЖНИК
ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ФОРМУВАННЯ ПРИПЛИВНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ
СТРУМЕНІВ НА ПОКАЗНИКИ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННІ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У даній статті розглянуто математичний апарат, який описує течію струменя на тверду поверхню. Проаналізовано теоретичні та емпіричні дослідження авторів в області застосування ефекту Коанда. Розглянуто залежність виникнення ефекту Коанда від кута закінчення струменя на тверду поверхню і відношення геометричних параметрів прямокутного сопла, а також розглянуто метод інтенсифікації при закінченні потоку через сопло. Розглянуто різні опалювально-вентиляційні пристрої, в яких застосовується ефект Коанда. Необхідно досліджувати різні повітророзподільні насадки для вибору найбільш доцільних конструкцій і економії енерговитрат на забезпечення робочої зони припливним повітрям, а також домагатися досягнення найбільш комфортних параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщень, у тому числі виробничих приміщень висотою шість і більше метрів, що обумовлює мультизональність при нормуванні параметрів мікроклімату.

Ключові слова: повітряний потік, ефект Коанда, розподіл повітря, мікроклімат.

BOGDAN KLYAUS, DMITRY VYBORNOV, ANASTASIA PLUZHNIK
THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE FORMATION OF SUPPLY
VENTILATION JETS ON THE INDOOR CLIMATE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. This article discusses a mathematical apparatus that describes the flow of a jet stream on a hard surface. The theoretical and empirical studies of the authors in the field of application of the Coanda effect are analyzed. The dependence of the occurrence of the Coanda effect on the angle of the jet on a solid surface and the ratio of the geometric parameters of a rectangular nozzle are considered, and the method of intensification when the stream flows through the nozzle is considered. Various heating and ventilation devices that use the Coanda effect are considered. It is necessary to study various air distribution nozzles to select the most appropriate designs and save energy on providing the working area with supply air, as well as to achieve the most comfortable microclimate in the working area of the premises, including production rooms with a height of six or more meters, which leads to multizonality when setting parameters microclimate.

Key words: air flow, Coanda effect, air distribution, microclimate.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

УДК 620.92: 621.311

С. П. ВЫСОЦКИЙ, Е. Л. ГОЛОВАТЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. Тепловые сети являются одним из источников загрязнения окружающей среды в городах. При этом загрязнение может происходить по трем средам: гидросфере, атмосфере и литосфере. Виды и количественные показатели загрязнителей атмосферы зависят от типа используемого топлива, условий его сжигания и используемого оборудования. На расположенных в селитебных зонах котельных дымовые трубы имеют относительно небольшую высоту (60 м). Таким образом выбросы дымовых газов рассеиваются на селитебных территориях, ухудшая экологическое состояние городов, обусловленное еще и выбросами автомобильного транспорта. Основными загрязнителями атмосферы городских территорий являются окислы углерода и азота при сжигании газообразных и жидких топлив. Загрязнение гидросферы включает сбросы засоленных стоков в поверхностные водные источники. Загрязнение литосферы происходит при сжигании твердого топлива. Его применение в большинстве городов ограничено. При сжигании твердого топлива к указанным выше загрязнениям добавляется высокодисперсная пыль и окислы серы. В последние годы в мировой практике большое внимание уделяется сокращению эмиссий парниковых газов, в частности диоксида углерода. Указанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости применения природоохранных мероприятий, в частности при решении задач теплоснабжения.

Ключевые слова: теплоснабжение, загрязнение среды, возобновляемые источники, энергия, термическая проводимость, биомасса.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Учитывая уникальные свойства воды – ее высокую теплоемкость, вода повсеместно используется в качестве теплоносителя в системах локального и централизованного теплоснабжения, а также в оборотных системах водоснабжения.

Качество воды, используемой в виде носителя, отдающего или принимающего тепло, влияет на загрязнение теплопередающих поверхностей. Это может существенно изменить производительность или технологические параметры работы оборудования. Загрязнение поверхности нагрева в результате образования отложений влияет на эксплуатационные показатели работы оборудования следующим образом:

- слой отложений обладает низкой теплопроводностью. Это увеличивает сопротивление теплопереносу и уменьшает эффективность теплообмена;
- при генерации тепла или электрической энергии происходит увеличение удельных расходов топлива, что сопровождается экологическими издержками – увеличением выбросов загрязнений в окружающую среду;
- увеличение толщины отложений уменьшает сечение для прохода среды, что вызывает повышение перепада давления и перерасход энергии;
- наличие отложений создает опасность образования электрохимических пар дифференциальной аэрации, увеличивающих интенсивность и избирательность коррозионных процессов.

Отложения отличаются различной термической проводимостью и, соответственно, потенциальной опасностью увеличения энергетических потерь. В таблице 1 приведена термическая проводимость основных типов отложений [1]. Несмотря на то, что карбонат кальция обладает наибольшей термической проводимостью, именно это соединение создает наибольшие неприятности при эксплуатации систем теплоснабжения и оборотных систем охлаждения.

Таблица 1 – Термическая проводимость некоторых отложений

Тип отложений	Термическая проводимость, Вт/мК
Окись алюминия, глинозем	0,42
Слой биологических отложений	0,60
Графит	1,60
Сульфат кальция	0,74
Карбонат кальция	2,19
Карбонат магния	0,43
Окись титана	8,0
Пластичная глина, минеральный воск	0,24

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На большей части теплофикационных котельных, установленных в странах бывшего Советского Союза и ближнего зарубежья применяется умягчение подпиточной воды тепловых сетей методом натрий-катионирования. В подпиточной воде нормируется так называемый карбонатный индекс-произведение кальциевой жесткости на щелочность воды. При традиционном умягчении щелочность воды не изменяется. Поэтому для предотвращения накипеобразования исходную воду приходится «переумягчать». Кроме того, ионы магния в большинстве случаев «не принимают» участия в отложениях, а их удаление приводит к дополнительным сбросам стоков. При этом при удельном расходе регенеранта 2,5–3,0 г-экв/г-экв поглощенных катионов жесткости в поверхностные водоемы сбрасывается в сутки 2,9–3,4 т хлоридов натрия, кальция и магния на каждые 100 т/ч умягченной воды с жесткостью 7 мг-экв/дм³ (вода из канала Северский Донец-Донбасс).

ЦЕЛЬ

Анализ методов уменьшения вредного воздействия на окружающую среду, в частности за счет использования возобновляемых источников энергии и предотвращения загрязнения поверхностей нагрева.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Образование отложений происходит за счет транспорта накипеобразований из объема жидкости к теплопередающей поверхности. Транспорт веществ является наиболее понятным из всех последовательных событий. Транспортировка веществ происходит за счет действия одного или нескольких из следующих механизмов:

- диффузия включает массоперенос загрязняющих компонентов от протекающей жидкости к поверхности теплопередачи из-за разницы концентраций между объемом жидкости и прилегающей к поверхности жидкости.

- электрофорез – под действием электрических сил загрязняющие частицы, несущие электрический заряд, могут перемещаться в сторону от заряженной поверхности или в сторону от нее в зависимости от полярности поверхности и частиц. Осаждение из-за электрофореза увеличивается с уменьшением электрической проводимости жидкости, повышением температуры и увеличением скорости жидкости. Это также зависит от pH раствора. Поверхностные силы, такие как силы Лондона-Вандер-Ваальса и электрические взаимодействия в двойном слое, обычно ответственны за электрофоретические эффекты.

- термофорез – явление, при котором «тепловая сила» перемещает мелкие частицы в направлении отрицательного градиента температуры из горячей зоны в холодную зону.

Таким образом, высокотемпературный градиент вблизи горячей стенки будет препятствовать осаждению частиц, но такое же абсолютное значение градиента вблизи холодной стены будет способствовать осаждению частиц. Термофоретический эффект характерен больше для газов, чем для жидкостей.

- седиментация включает отложение твердых частиц, таких как частицы ржавчины, глина и пыль, на поверхности под действием силы тяжести. Для того, чтобы произошла седиментация, сила гравитации вниз должна быть больше, чем сила сопротивления вверх. Седиментация важна для крупных частиц и низких скоростей жидкости. Это часто наблюдается в водах градирни и других промышленных процессах, где частицы ржавчины и пыли могут действовать как катализаторы и / или вступать в сложные реакции.

– инерционное столкновение – явление, при котором «крупные» частицы могут иметь достаточную инерцию, чтобы они не могли следовать по линиям жидкости и, как следствие, оседать на поверхности.

– турбулентные нисходящие потоки – поскольку вязкий подслой в турбулентном пограничном слое не является действительно устойчивым, жидкость перемещается к поверхности с помощью турбулентных нисходящих потоков. Их можно рассматривать как зоны всасывания измеряемой силы, распределенные случайным образом по всей поверхности.

Воздействие на один или на несколько механизмов позволяет уменьшить или полностью исключить образование накипи.

Уровень издержек в результате загрязнения поверхностей нагрева в развитых странах, несмотря на хороший уровень развития и применения противонакипных технологий, очень высокий, как показано в таблице 2 [2].

Таблица 2 – Оценочные ежегодные затраты в результате загрязнений поверхностей теплообмена

Страна	Издержки в результате загрязнений поверхностей, млн дол.	Доля затрат от ВВП, %
США	14 175	0,25
Япония	10 000	0,25
СК	2 500	0,25
ФРГ	4 875	0,25
Франция	2 400	0,25
Австралия	463	0,15
Новая Зеландия	64,5	0,15

Учитывая высокий уровень затрат на теплоснабжение и повышение экологических и экономических требований к системам теплоснабжения, в мировой практике применяется ряд инноваций. Основные направления инноваций приведены в таблице 3.

В мировой практике в связи с увеличением опасности катастрофических изменений климата большое влияние уделяется снижению эмиссии парниковых газов [3, 4]. Основным газом, запускающим механизм тепловых машин, погоды, является диоксид углерода (CO_2). Эмиссия CO_2 при сжигании различных видов топлива показана на рисунке 1.

Существенное уменьшение генерации CO_2 происходит при комбинированной генерации электроэнергии и тепла, как это показано на рисунке 2 [5].

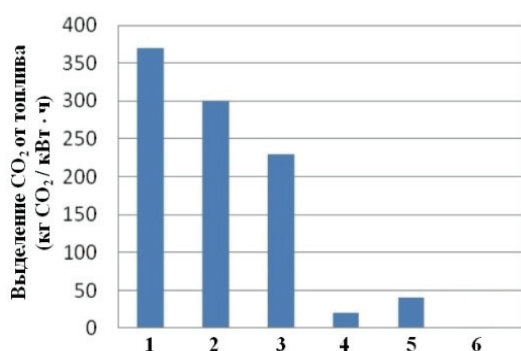


Рисунок 1 – Выделение CO_2 при сжигании различных видов топлива: 1 – уголь, 2 – мазут, 3 – природный газ, 4 – биотопливо, 5 – очищенное биотопливо, 6 – отходы в качестве топлива.

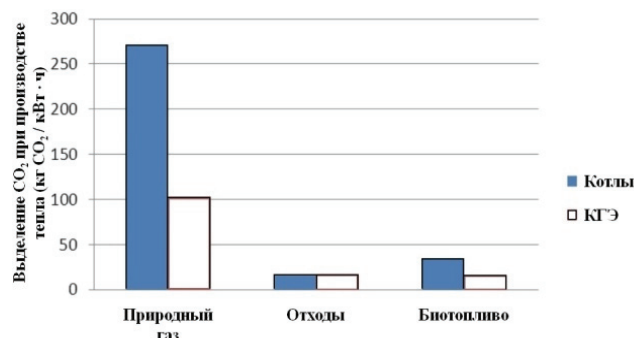


Рисунок 2 – Выделение CO_2 при использовании подогрева воды в котлах и при комбинированной генерации электроэнергии (КГЭ) и тепла при работе на одном и том же топливе.

Централизованное теплоснабжение используется по-разному в разных странах, регионах и городах и особенно широко в Российской Федерации. Это, как правило, признается в качестве жизнеспособного подхода в большинстве рассматриваемых стран, хотя и по разным причинам.

Центральное отопление широко используется в некоторых частях Европы, Северной Америки и Азии. В Европе оно покрывает 12 % общего спроса на тепло. В странах Скандинавии, Центральной

Таблица 3 – Список инноваций, используемых в мировой практике

Категория	Решения	Комментарий
Возобновляемое отопление	Солнечное тепловое отопление (коллекторы)	Актуальная область технологий, используемых в Германии.
	Регенерация тепла сточных вод	
	Системы отопления на биомассе (пеллеты)	Технология традиционно используется, но на сегодня имеет небольшую область использования. Биомасса с акцентом на гранулы.
Использование тепла из недр земли	Геотермальное отопление	Существующая технология в ряде стран, но с ограниченным применением.
Изоляция	Изоляция труб с горячей водой	
	Утепление наружных стен, подвалов, крыш	Решение особенно актуально для зданий с высоким энергопотреблением
	Озеленение экстерьеров и крыш (также для охлаждения)	Повышение эффективности теплоснабжения.
Вентиляция	Эффективные механические системы вентиляции и кондиционирования	
Энергоэффективность	Эффективные конденсационные котлы	Уже стандартная технология для новых систем отопления в Европейском Союзе.
	Системы управления отоплением (интеллектуальные счетчики)	Отопление с использованием умных счетчиков еще не реализовано, но потенциально является важной областью применения.
Повышение потенциала тепла	Тепловые насосы	Технология получает все большее значение в новых зданиях, но необходимо оценить потенциал и устойчивость в каждой отдельной стране.
Изменение подходов к стандартам приемлемой температуры поведения	Более низкая температура в помещении (термостаты)	Частично охвачен интеллектуальным замером температуры, нуждается в изменении отношения общества.
	Меньший размер жилья на душу населения.	Необходимо социальное поведение изменить и оценить применимость потенциально разных технологий и архитектурных решений.
Строительные стандарты	Низкоэнергетические, нулевые пассивные дома	Актуальная область применения как для новых, так и для существующих зданий. Из-за большого запаса и низких темпов строительства и реконструкции нет узкой направленности на пассивные дома.

и Восточной Европы крупные инфраструктуры распределения тепла были развиты во второй половине XX века. В этих странах это остается основным способом обеспечения энергией для отопления помещений и водоснабжения в городских районах. В странах Западной Европы, таких как Германия и Швейцария, централизованное теплоснабжение вносит более скромный, но тем не менее значительный вклад, и его вклад в структуру энергетики в последние годы был относительно стабильным.

Централизованное теплоснабжение, так и централизованное охлаждение до сих пор в основном основывались на ископаемом топливе, причем уголь и природный газ удовлетворяли основную часть спроса. Тем не менее успешные проекты по возобновляемой энергии для централизованного отопления и охлаждения были реализованы во многих развитых странах [6].

Ряд факторов стимулирует расширение возобновляемых систем централизованного отопления. Они несколько различаются между регионами и могут по-разному применяться к различным возобновляемым технологиям. Их обычно можно разделить на экологические выгоды, системные выгоды, синергизм с городской средой и повышенную энергетическую безопасность (таблица 4).

Таблица 4 – Обзор преимуществ использования возобновляемых источников в системах теплоснабжения

Экологическая выгода	Экологические факторы связаны с преимуществами замены или исключения менее эффективного децентрализованного оборудования для отопления или охлаждения и централизованного теплоснабжения на основе ископаемого топлива.	Чисто энергетические цели. Загрязнение воздуха в городах. Быстрое, экономическое и эффективное снижение выбросов CO ₂ . Экономия пресной воды.
Системные преимущества	Энергетика района взаимодействует с окружающими системами множеством способов, включая электросеть, сектор отходов и местную экономику. Это может быть одной из причин для внедрения схем использования возобновляемых источников энергии. Кроме того, свойства самой энергии района полезны для использования возобновляемых источников энергии.	Кросс-секторальные преимущества. Опора для электрической системы. Местные ресурсы и экономика. Шкала спроса в централизованном теплоснабжении. Более гладкие профили спроса. Синергизм подключенного отопления и источников охлаждения. Наличие и жизнеспособность хранилищ энергоносителей.
Синергизм с городской средой	Районные энергетические системы по своей природе соответствуют городским ландшафтам: они извлекают выгоду из этой среды и поддерживают ее.	Урбанизация. Избежание децентрализованных объектов. Интеграция в городские здания и инфраструктуру.
Повышенная энергетическая безопасность	За исключением биомассы, возобновляемое централизованное теплоснабжение зависит главным образом от местных ресурсов или технологий, которые не используют жидкое или твердое топливо.	Энергетическая независимость. Диверсификация энергетики. Стабильность цен.

Целевые показатели выбросов на муниципальном уровне являются основной движущей силой многих преобразований. Использование биологических ресурсов обеспечивает получение ряда преимуществ [7]. Происходит значительное уменьшение загрязнения городского воздуха. В частности сжигание угля в городских центрах является разрушительным, поскольку воздействие загрязнения воздуха ощущается больше в местах с высокой плотностью населения. Это усугубляется неэффективными теплогенераторами во многих городах развивающегося мира. Например, это было сообщено в качестве основного мотива для серьезного обновления системы отопления в некоторых странах.

Обеспечивает быстрое и экономичное снижение выбросов парниковых газов. Принимая во внимание то, что это больше, чем индивидуальные системы отопления и охлаждения, возобновляемые системы централизованного отопления позволяют быстрее и дешевле сократить выбросы парниковых газов. Одним из примеров является перевод крупных ТЭЦ, работающих на угле, на сжигание биомассы.

Обеспечивает межотраслевые преимущества. Используя избыточную энергию ветра для отопления, можно избежать сокращения потребления органического топлива. Точно так же электрические котлы используются для предоставления регулирующих услуг, учитывая, что происходит увеличение мощностей ветровой и солнечной энергии. Другая полезная синергия связана с выработкой электроэнергии на теплоэлектростанциях. Поскольку комбинированная выработка тепла электроэнергии на ТЭЦ сосредоточена зимой, это электричество дополняет выработку от фотоэлектрических преобразователей.

Возобновляемые источники обеспечивают разгрузку электрических сетей. Используются местные ресурсы. Использование местных органических отходов в установках или котлах для выработки биомассы помогает оптимизировать местную систему обращения с отходами и перенаправить потоки отходов на более полезное использование. Многие города используют местную биомассу и придают большое значение местному происхождению ресурса. Использование местных ресурсов биомассы поддерживает местную экономику и поддерживает движение денег в городах.

Экономия зависит от масштаба применения. Хотя биомасса и солнечная энергия также могут использоваться в отдельных зданиях, некоторые подходы с использованием возобновляемых источников энергии имеют смысл только при реализации в достаточно больших объемах. Это включает

естественное водяное охлаждение и глубокое геотермальное тепло. Многие другие технологии могут извлечь выгоду из значительной экономии за счет масштаба, например использование крупномасштабных солнечных преобразователей.

Выравнивается структура спроса на энергию. Объединение профилей нагрузки для различных типов потребителей (жилых зданий, магазинов, промышленных объектов) выравнивает структуру спроса. Поскольку многие возобновляемые источники тепла требуют больших инвестиций и низких эксплуатационных расходов, плавная базовая нагрузка в течение всего года улучшает их экономику. Кроме того, некоторые возобновляемые источники тепла имеют ограниченную гибкость: солнечное отопление и охлаждение доступны в дневное время летних месяцев.

Если некоторым потребителям постоянно требуется тепло, такие ресурсы используются более эффективно, и для их хранения требуется меньше места. Обеспечивается синергизм с другими источниками генерации тепла. Соединение широкого спектра производителей тепловой энергии позволяет оптимизировать стоимость услуг. Например, геотермальное тепло удовлетворяет базисную нагрузку и может быть объединено с гибкой нагрузкой от сжигания биомассы или отходов на ТЭЦ, что позволяет реагировать на дополнительный переменный спрос.

Позволяют более экономично хранить энергию. Конкретные преимущества хранения резко увеличиваются с размером. Большие резервуары для горячей воды выигрывают от снижения тепловых потерь и снижения инвестиционных затрат на единицу мощности. Поэтому, поскольку многим возобновляемым источникам тепла и охлаждения требуется емкость для хранения, чтобы соответствовать их негибкой производительности по требованию, они получают выгоду от большого масштаба районных энергетических систем.

Уменьшение геометрической площади. По сравнению с обычными системами обогрева и охлаждения многие возобновляемые решения выигрывают от особенно небольшой геометрической площади, которая позволяет интегрировать их в городскую среду с очень низким визуальным воздействием. Возобновляемое отопление и варианты охлаждения (за исключением импортируемой биомассы) используют местные ресурсы, которые мало различаются по цене. Это заметное преимущество в странах, которые импортируют ископаемое топливо или испытывают дефицит ископаемого топлива.

Увеличивает диверсификацию энергии. Сбалансированное сочетание типов нагрева повышает устойчивость энергосистемы за счет уменьшения зависимости от одного топлива, такого как природный газ или уголь.

Улучшает стабильность цен на энергоносители. Многие возобновляемые системы ДЦО не зависят от топлива, и поэтому их стоимость очень предсказуема в течение всего срока службы. Местные биоэнергетические ресурсы менее подвержены влиянию цен на топливо на мировом рынке. Это является одной из основных причин перехода от природного газа к биомассе.

ВЫВОДЫ

1. Системы теплоснабжения оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды в результате выбросов парниковых газов и сбросов засоленных стоков в поверхностные водные источники.

2. Карбонат кальция является основным загрязнителем поверхностей нагрева, создающим основной экологический и экономический ущерб, несмотря на наибольшую термическую проводимость отложений.

3. Применение комбинированной генерации электрической и тепловой энергии обеспечивает экологические и экономические преимущества независимо от производительности оборудования.

4. Применение биомассы для генерации энергии обеспечивает экологические и экономические преимущества стабильность работы предприятий, создает меньшую зависимость от цен на топливо на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий, С. П. Выбор альтернативных решений для подготовки воды для подпитки тепловых сетей [Текст] / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 4(102). – С. 77–87.
2. Cost analysis of district heating compared to competing technologies [Electronic resource] / O. Gudmundsson, J. E. Thorsen, L. Zhang // WIT Transactions on Ecology and The Environment. – 2013. – Vol. 176. – Access mode: www.witpress.com/. – ISSN 1743-3541.

3. Energy and Climate Change [Text] // World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency, 2015. – 198 p.
4. Высоцкий, С. П. Ожидаемые или неожиданные изменения климата [Текст] / С. П. Высоцкий // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. – № 2(55). – С. 87–98.
5. Utilization of District Heating Networks to Provide Flexibility in CHP Production [Text] / T. Korpela, J. Kaivosoja, Y. Majanne, L. Laakkonen and etc. // Energy Procedia. – 2017. – Volume 116. – P. 310–319.
6. Renewable Energy and Energy Efficiency in Developing Countries Contribution to Reducing Global Emission [Text] / United Nations Environment Programme, 2017. – 90 p.
7. District heating in cities as a part of low-carbon energy system [Text] / A. Hasta, S. Syri, V. Lekavicius, A. Galinis // Energy. – 2018. – Volume 152. – P. 627–639.
8. Review on biomass as a fuel for boilers [Text] / S. Rahman, A. Abdelaziz, A. Demirbas, M. S. Hossain and etc. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – 15(5). – P. 2262–2289.

Получено 08.10.2019

С. П. ВИСОЦЬКИЙ, К. Л. ГОЛОВАТЕНКО
ЕКОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Теплові мережі є одним з джерел забруднення навколишнього середовища у містах. У цьому випадку забруднення може відбуватися в трьох середовищах: гідросфері, атмосфері та літосфері. Типи і кількісні показники забруднювачів атмосфери залежать від типу використовуваного палива, умов його згоряння і використовуваного обладнання. На котельнях, розташованих в житлових районах, димоходи мають відносно невелику висоту (60 м). Таким чином викиди димових газів розсіюються в житлових районах, що погіршує екологічний стан міст, у тому числі через викиди від автомобільного транспорту. Основними забруднювачами повітря в міських районах є оксиди вуглецю та азоту при спалюванні газоподібного та рідкого палива. Забруднення гідросфери включає скидання сольових стоків в поверхневі джерела води. Забруднення літосфери відбувається при спалюванні твердого палива. Його використання в більшості міст обмежена. При спалюванні твердого палива до вищевказаних забруднювачів додаються дрібнодисперсний пил і оксиди сірки. В останні роки у світі велика увага приділяється скороченню викидів парникових газів, зокрема вуглекислого газу. Ці обставини вказують на необхідність природоохоронних заходів, зокрема при вирішенні проблем теплопостачання.

Ключові слова: теплопостачання, забруднення середовища, поновлювані джерела, енергія, термічна провідність, біомаса.

SERGEY VYSOTSKY, EKATERINA GOLOVATENKO
ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF HEAT SUPPLY SYSTEMS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Heat networks are one of the sources of environmental pollution in cities. In this case, pollution can occur in three environments: hydrosphere, atmosphere and lithosphere. The types and quantitative indicators of atmospheric pollutants depend on the type of operating fuel, its combustion condition and the operating equipment. On boiler rooms located in residential areas, chimneys have a relatively small height (60 m). Thus, flue gas emissions are dispersed in residential areas, worsening the environmental condition of cities, also due to emissions from road transport. The main air pollutants in urban areas are carbon and nitrogen oxides from the combustion of gaseous and liquid fuels. Hydrosphere pollution includes the discharge of saline effluents into surface water sources. Pollution of the lithosphere occurs when burning solid fuel. Its use in most cities is limited. When burning solid fuel, finely dispersed dust and sulfur oxides are added to the above contaminants. In recent years, much attention has been paid in the world to reducing greenhouse gas emissions, in particular carbon dioxide. These circumstances indicate the need for environmental protection measures, in particular, in solving problems of heat supply.

Key words: heat supply, environmental pollution, renewable sources, energy, thermal conductivity, biomass.

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

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

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

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

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

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

УДК 504.5:631.4

С. П. ВЫСОЦКИЙ^а, О. В. ФРУНЗЕ^б^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,

ТЕХНОЛОГИЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ

Аннотация. Представлены основные механизмы фиторемедиации загрязненных урбанизированных территорий. Исследована эффективность технологии фиторемедиации почв, загрязненных ионами кобальта, марганца и хрома, некоторыми видами декоративных травянистых растений. Изучена динамика изменения концентрации ионов кобальта, марганца и хрома в почве в условиях металлопрессинга. На основании полученных данных выявлены виды-гипераккумуляторы тяжелых металлов – *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L., которые, благодаря своей превосходной приспособляемости на деградированной, загрязненной тяжелыми металлами почве, обладают высоким уровнем накопления биомассы, высокой сорбционной способностью, что дает возможность рекомендовать данные виды к использованию в технологии восстановления почв, загрязненных ионами тяжелых металлов.

Ключевые слова: фиторемедиация, урбанизированные территории, тяжелые металлы, сорбционная способность, декоративные травянистые растения.

Районы, расположенные в непосредственной близости от металлургических предприятий и автомагистралей с интенсивным автомобильным трафиком, подвергаются воздействию высоких концентраций большого количества загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов [2, 3]. Тяжелые металлы, называемые потенциально токсичными элементами, вызывают деградацию ризосферного слоя почвы и представляют серьезную угрозу для пищевой цепи растений, животных и человека. Основным источником данных поллютантов в почве является интенсивная добыча полезных ископаемых, промышленная деятельность, транспорт, энергетика и сельское хозяйство [4].

Тяжелые металлы первоначально накапливаются в верхних слоях почвы, не вызывая видимых изменений, или они слишком медленные, чтобы быть замеченными. Изменения в почве становятся очевидными, когда происходит разрушение растительности и трансформация всей поверхности почвы в пустоши [1].

Ионы тяжелых металлов, выбрасываемые промышленными предприятиями, сначала не наносят вред растениям, но их отрицательные эффекты раскрываются в последующих звеньях трофической цепи. Почвенная среда имеет ограниченную защитную способность от выбросов тяжелых металлов. Кроме того, с течением времени происходит накопление данных поллютантов в почве и увеличение поглощения тяжелых металлов растениями.

Токсичность тяжелых металлов для растений зависит от типа металла, его формы содержания в почве. Некоторые из них ингибируют образование хлорофилла, тем самым снижая эффективность фотосинтеза и, следовательно, приводя к уменьшению роста растений. Биохимическая роль металлов в основном связана с процессом белкового обмена, транспортными элементами и веществами как на уровне клеток и органов, так и с активностью ферментов (особенно участвующих в процессах окисления и восстановления) [5, 6].

Накопление тяжелых металлов происходит с повышением трофического уровня в экосистеме. Перемещение каждого элемента на более высокий трофический уровень пищевой цепи ограничено функционированием биологических барьеров. Однако в случае слишком высокой концентрации

элементов влияние этих барьеров ослабляется, что связано с потенциальным риском негативного воздействия на окружающую среду и особенно на здоровье человека. Чаще всего тяжелые металлы попадают в организм животных и человека вместе с пищей. Ионы тяжелых металлов вызывают изменения в синтезе белка и нарушении синтеза АТФ, что приводит к повреждению клеточной мембраны и мембран органелл. Некоторые из металлов вызывают почечную дисфункцию, репродуктивную дисфункцию и нарушение усвоения кальция. Тяжелые металлы чрезвычайно опасны для здоровья в связи с их накоплением в организме человека и животных [1, 8, 9, 10].

Самоочищение в случае ионов тяжелых металлов, содержащихся в почве, практически невозможно из-за их относительно низкой реакционной способности (например, время инактивации ионов свинца в почве оценивается в несколько сотен лет). Быстрая и точная очистка почв от тяжелых металлов возможна только с помощью так называемых жестких технических методов, которые могут быть небезопасны для окружающей среды. В отличие от них, фиторемедиация почвы – это недорогая и экологически чистая технология восстановления деградированных территорий [11, 12].

Около 500 видов растений являются гипераккумуляторами. Среди них выделяют значительное количество декоративных травянистых растений [7]. Идеальные для фиторемедиации растения должны обладать способностью накапливать высокие концентрации металла, выдерживать высокие концентрации соли, обладать большой скоростью роста, быстро накапливать биомассу, эффективно накапливать металл в надземных частях, простотой уборки урожая [8].

Поэтому целью нашей работы было исследовать эффективность технологии фиторемедиации почвы, загрязненной ионами кобальта, марганца и хрома, некоторыми видами декоративных травянистых растений.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ И СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

На территории Донецкой области преобладают плодородные типичные, обыкновенные и среднегумусные черноземы, на юге и юго-западе – малогумусные. Практически все почвы области (более 95 %) относятся к классу техногенно измененных в результате интенсивной промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Для почв городов региона характерны: очаговая загрязненность тяжелыми металлами и нефтепродуктами, нарушение кислотно-щелочного баланса и физико-механических свойств (пониженная влагоемкость, повышенная уплотненность грунта, каменистость), наличие включений строительного и бытового мусора, низкое содержание в почвах питательных элементов, что связано с интенсивной техногенной нагрузкой [4].

Полевой эксперимент проводили в зоне влияния металлургического завода ТЗНТС г. Тореза Донецкой области. Параметры почвы и концентрацию ионов кобальта, марганца и хрома в почве сухой биомассе декоративных травянистых растений определяли в течение четырех вегетационных периодов. Исследования показали, что на исследованной территории преобладают малогумусные черноземы, характеризующиеся низкой влажностью и низким значением pH (таблица).

Таблица – Биохимическая характеристика почвы опытного участка

Параметр	M±m
Влажность [%]	17,96±1,32
pH в H ₂ O	5,15–5,25
pH в 1M KCl	4,64–4,79
Гуминовые кислоты [%]	0,89±0,01
C всего [г/кг]	11,38±1,12
N [мг/кг]	675,00±15,12
P доступно [мг/кг]	23,96±0,78
P всего [мг/кг]	75,33±5,22
Co [мг/кг]	14,47±0,27
Mn [г/кг]	5,740±2,00
Cr [мг/кг]	10,25±0,12

Для проведения эксперимента были использованы декоративные травянистые растения: *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica naps* L., *Dahlia variabilis* Desf., *Echinacea purpurea*, *Cosmos sulphureus* Cav., *Agrostemma githago* L., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L., *Calendula officinalis* L., *Petunia Hybrida Grandiflora*, *Silene coeli rosa*, *Phacelia tanacetifolia* L., *Zinnia agnustifolia* H., *Tagetes erectus* L., *Savkia splendens*.

Полевые исследования проводились в 2014–2018 году. В апреле 2014 года были созданы два исследовательских участка: первый – на расстоянии 800 метров к северо-востоку от металлургического завода на участке площадью 40 м² (участок № 1); второй – участок площадью 40 м² был сформирован в качестве контроля (условно незагрязненная почва) на территории Донецкого ботанического сада (рис. 1).



Рисунок 1 – Полевой эксперимент: а) полевой эксперимент на территории ботанического сада (контроль); б) полевой эксперимент возле металлургического завода.

На обоих участках исследования в течение четырех лет в апреле высевали исследованные виды декоративных травянистых растений, осенью растения извлекали вместе с корневой системой, отбирались образцы почвы и растительного материала. В отобранных образцах почвы и растительного материала определяли содержание ионов кобальта, марганца и хрома.

Содержание марганца, кобальта и хрома в растительном и почвенном материале определяли по методу атомно-адсорбционной спектроскопии по В. Прайсу на атомно-адсорбционном спектрофотометре Сатурн-3. Полученные данные обрабатывали статистически с помощью специально разработанных программ.

Анализ содержания ионов тяжелых металлов в почве опытного участка показал высокий уровень ионов кобальта, превышающий ПДК данного металла в несколько раз (таблица). В течение полевого эксперимента были зафиксированы достоверные изменения концентрации кобальта, в почве опытного участка в течение всех четырех вегетационных периодов выращивания растений, которые зависели как от видовой специфики растений, так и от природы металла (рис. 2).

Так, при выращивании устойчивых к загрязнению, обладающих высоким уровнем накопления биомассы проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L. на 2-й вегетационный период наблюдалось достоверное снижение в почве опытного участка ионов кобальта на 4,1...15,6 %. В конце 3-го вегетационного периода концентрация кобальта уменьшилась на 10,9...17,0 %, в сравнении с первичными данными начала опыта. На 4-й вегетационный период концентрация в почве ионов кобальта снизилась на

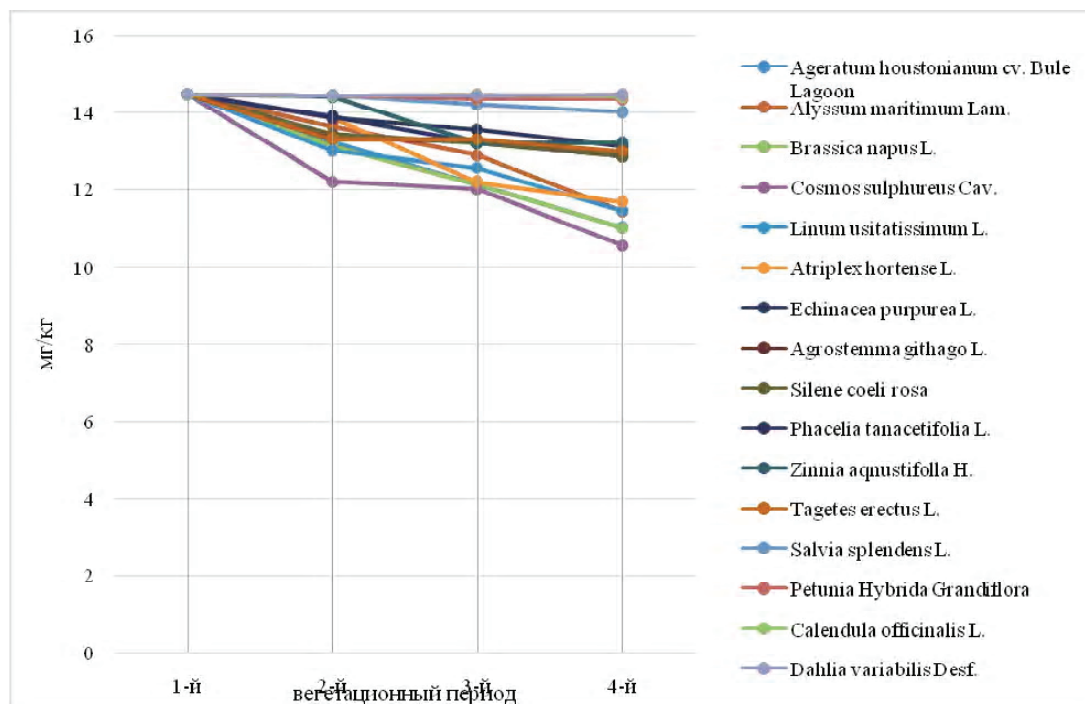


Рисунок 2 – Изменение концентрации Co^{2+} в почве, подверженной фиторемедиации с помощью декоративных травянистых растений.

19,2...27,0 %. На контрольном участке так же было отмечено достоверное снижение ионов кобальта при высадке проростков *Ageratum houstonianum* cv. Bule Lagoon, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L., что говорит об их высокой ремедиационной и сорбционной способности.

При выращивании на опытном участке толерантных к загрязнению проростков *Echinacea purpurea* L., *Agrostemma githago* L., *Silene coeli rosa*, *Phacelia tanacetifolia* L., *Zinnia aquastifolia* H., *Tagetes erectus* L. на 2-й вегетационный период так же было отмечено снижение ионов кобальта на 0,4...7,9 %. На 3-й вегетационный период концентрация поллютанта снизилась на 6,4...8,7 %, а на 4-й – на 9,3...11,1 %, в сравнении с данными 1-го вегетационного периода. На контрольном участке так же наблюдалось снижение концентрации кобальта на 3...12 %.

Другая тенденция наблюдалась при выращивании на опытном участке чувствительных к загрязнению почвы проростков *Salvia splendens* L., *Petunia Hybrida Grandiflora*, *Calendula officinalis* L., *Dahlia variabilis* Desf. Во 2-й вегетационный период практически не было отмечено изменения концентрации ионов кобальта в почве. На 3-й и 4-й вегетационный период на участке выращивания *Salvia splendens* L. и *Petunia Hybrida Grandiflora* наблюдали некоторое снижение концентрации ионов кобальта, но данные изменения не были статистически достоверны. Аналогичная картина наблюдалась и при выращивании данных растений на контрольном участке.

Анализ почвы опытного участка на содержание тяжелых металлов показал высокий уровень ионов марганца, превышающий ПДК данного металла в несколько раз. При выращивании на данной территории исследованных видов растений были получены следующие результаты. Так, при выращивании устойчивых к загрязнению проростков *Ageratum houstonianum* cv. Bule Lagoon, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L. на 2-й вегетационный период наблюдалось достоверное снижение в почве опытного участка ионов марганца на 14,7...23,1% (рис. 3). Высокие показатели снижения концентрации марганца в почве могут быть обусловлены тем, что данный металл необходим для биохимических процессов растений (необходим для фотосистемы II), следовательно, поглощается проростками в больших количествах. В конце 3-го вегетационного периода концентрация марганца в почве уменьшилась на 30,5...45,0 %, в сравнении с первичными данными начала опыта. На 4-й вегетационный период концентрация в почве ионов марганца снизилась на 49,6...60,7%. На контрольном участке также было отмечено достоверное снижение ионов марганца при высадке проростков *Ageratum houstonianum* cv. Bule Lagoon, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L. на 9...48,3 %.

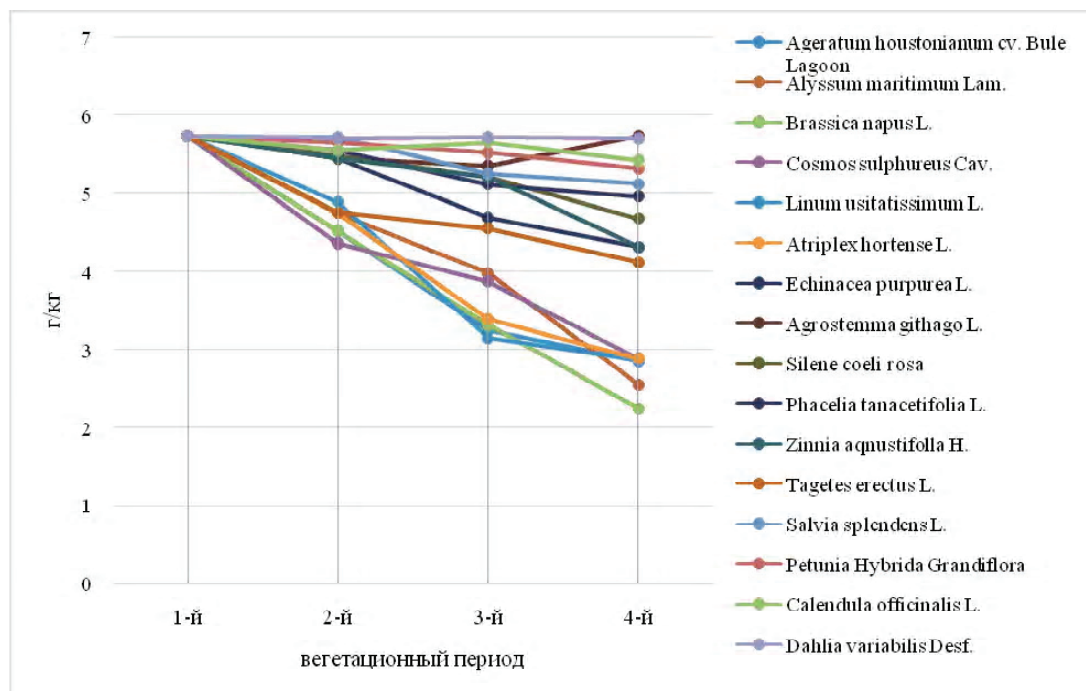


Рисунок 3 – Изменение концентрации Mn^{2+} в почве, подверженной фиторемедиации с помощью декоративных травянистых растений.

При выращивании на опытном участке толерантных к загрязнению проростков *Echinacea purpurea* L., *Agrostemma githago* L., *Silene coeli rosa*, *Phacelia tanacetifolia* L., *Zinnia aqumstifolla* H., *Tagetes erectus* L. на 2-й вегетационный период было отмечено незначительное снижение ионов марганца на 3,1...17,1 %. На 3-й вегетационный период концентрация поллютанта снизилась на 6,6...8,5 %, а на 4-й – на 13,4...28 % в сравнении с данными 1-го вегетационного периода. На контрольном участке также наблюдалось снижение концентрации марганца.

При выращивании на опытном участке чувствительных к загрязнению почвы проростков *Salvia splendens* L., *Petunia Hybrida Grandiflora*, *Calendula officinalis* L., *Dahlia variabilis* Desf. Во 2-й вегетационный период практически не было отмечено изменения концентрации ионов марганца в почве. На 3-й и 4-й вегетационный период на участке выращивания *Salvia splendens* L. и *Petunia Hybrida Grandiflora* наблюдали некоторое снижение концентрации ионов марганца, но данные изменения не были статистически достоверны. Аналогичная картина наблюдалась и при выращивании данных растений на контрольном участке.

Анализ почвы опытного участка на содержание тяжелых металлов показал высокий уровень ионов хрома, превышающий ПДК данного металла. Во время контролируемого процесса фиторемедиации, проводимого в полевых условиях, получили следующие результаты (рис. 4).

При выращивании устойчивых к загрязнению проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L. на 2-й вегетационный период наблюдалось достоверное снижение в почве опытного участка ионов хрома на 6,3...10,8 %. В конце 3-го вегетационного периода концентрация хрома в почве уменьшилась на 13,5...27 %, в сравнении с первичными данными начала опыта. На 4-й вегетационный период концентрация в почве ионов хрома снизилась на 43,6...48,7 %. На контрольном участке также было отмечено достоверное снижение ионов хрома при выращивании проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L.

При выращивании на опытном участке толерантных к загрязнению проростков *Echinacea purpurea* L., *Agrostemma githago* L., *Silene coeli rosa*, *Phacelia tanacetifolia* L., *Zinnia aqumstifolla* H., *Tagetes erectus* L. на 2-й вегетационный период было отмечено незначительное снижение ионов хрома на 3,1...15,1 %. На 3-й вегетационный период концентрация поллютанта снизилась на 5,6...7,7 %, а на 4-й – на 11,4...15 % в сравнении с данными 1-го вегетационного периода. На контрольном участке также наблюдалось снижение концентрации хрома.

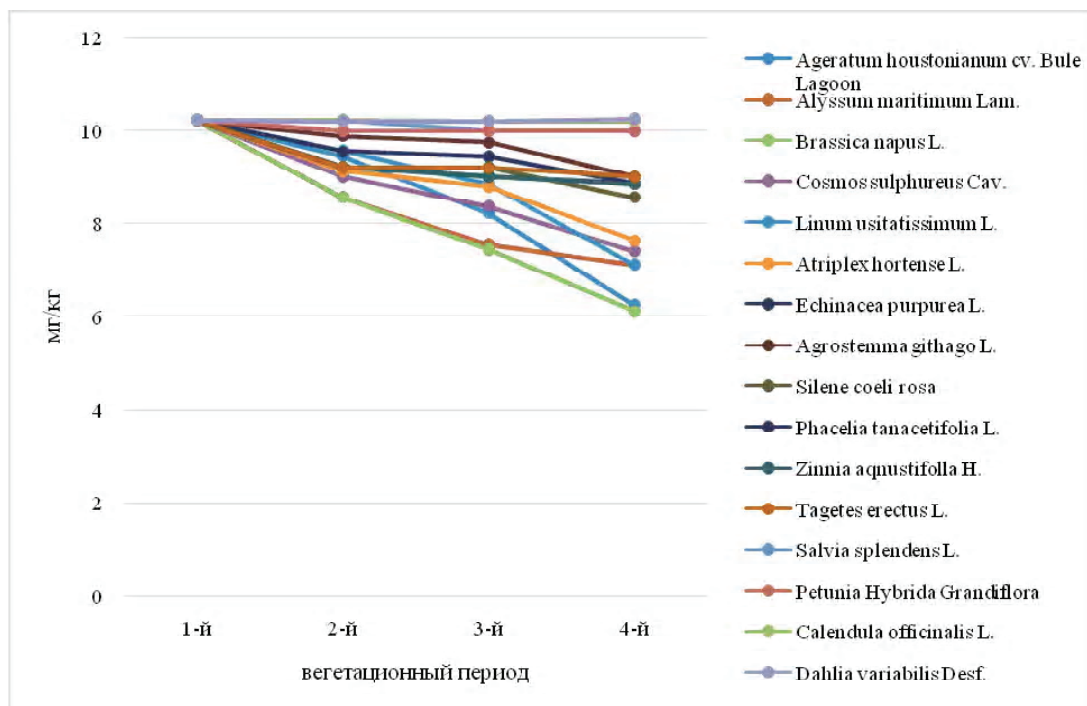


Рисунок 4 – Изменение концентрации Cr^{2+} в почве, подверженной фиторемедиации с помощью декоративных травянистых растений.

При выращивании на опытном участке чувствительных к загрязнению почвы проростков *Salvia splendens* L., *Petunia Hybrida Grandiflora*, *Calendula officinalis* L., *Dahlia variabilis* Desf. Во 2-й вегетационный период не отметили достоверного изменения концентрации ионов хрома в почве. На 3-й и 4-й вегетационный период наблюдали некоторое снижение концентрации ионов хрома, но данные изменения не были статистически достоверны. Аналогичная картина наблюдалась и при выращивании данных растений на контрольном участке.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что устойчивые к загрязнению почвы проростки *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L. Благодаря своей превосходной приспособляемости, даже на деградированной, загрязненной тяжелыми металлами почве опытного участка обладали высоким уровнем накопления биомассы, не было отмечено достоверных фактов угнетения ростовых процессов. Во время контролируемого процесса фиторемедиации, проводимого в полевых условиях, была отмечена их высокая сорбционная способность, что дает возможность рекомендовать данные виды к использованию в технологии восстановления почв, загрязненных ионами тяжелых металлов.

Толерантные к загрязнению *Echinacea purpurea* L., *Agrostemma githago* L., *Silene coeli rosa*, *Phacelia tanacetifolia* L., *Zinnia aquastifolia* H., *Tagetes erectus* L. не показали сорбционную способность, достаточную для их использования в технологии фиторемедиации.

Чувствительные к загрязнению почвы проростки *Salvia splendens* L., *Petunia Hybrida Grandiflora*, *Calendula officinalis* L., *Dahlia variabilis* Desf. нельзя рекомендовать для использования в технологии фиторемедиации по причине их низкой сорбционной способности и значительного угнетения накопления биомассы в условиях металлопрессинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация [Текст] : монография / В. А. Большаков, Н. М. Краснова, Т. И. Борисочкина, С. Е. Сорокин и др. – М. : Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1993. – 91 с.

2. Пути решения проблем экологической безопасности автотранспорта [Текст] / С. П. Высоцкий, Н. В. Игнатенко, Н. А. Столярова // Екологічні проблеми паливно-енергетичного комплексу : II регіональна наукова конференція аспірантів і студентів (26–27 квітня 2011 р., Донецьк), 2011. – Донецьк : [б. и.]. – С. 16–18
3. Пути снижения влияния автотранспорта на окружающую среду [Текст] / С. П. Высоцкий, Н. А. Столярова, А. В. Фаткулина, К. С. Широких // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту : науково-виробничий збірник. – 2012. – № 1(14). – С. 139–145.
4. Гуральчук, Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії [Текст] / Ж. З. Гуральчук. – К. : Логос, 2006. – 208 с.
5. Давыдова, С. Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века [Текст] / С. Л. Давыдова. – М. : Изд-во РУДН, 2002. – 140 с.
6. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение [Текст] / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 151 с.
7. Фрунзе, О. В. Содержание кобальта и марганца в проростках декоративных травянистых растений в условиях контролируемого загрязнения [Электронный ресурс] / О. В. Фрунзе, М. Н. Конопленко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. – № 3–4. С. 132–136. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=32652586>.
8. Glick, B. R. Phyto remediation: synergistic use of plants and bacteria to cleanup the environment [Text] / B. R. Glick // Biotechnology Advances. – 2010. – Vol. 21. – N 5. – P. 383–393.
9. Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminum smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species [Text] / A. M. D. Junior, M. A. Oliva, F. A. Ferreira // Ecological Indicators. – 2012. – Vol. 8. – N 5. – P. – 454–461.
10. Assessment of Landfill Leachate Volume and Concentration of Cyanide and Fluoride during Phytoremediation [Text] / D.-H. Kang, D. Tsao, F. Wang-Cahill, S. Rock and etc. // Bioremediation Journal. – 2012. – Vol. 12. – N 1. – P. 32–45.
11. Kramer, U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils [Text] / U. Kramer // Current Opinion in Biotechnology. – 2008. – Vol. 16. – N 2. – P. 133–141.
12. Pilon-Smits, E. Phytoremediation of Metals Using Transgenic Plants [Text] / E. Pilon-Smits, M. Pilon // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2014. – Vol. 21. – N 5. – P. 439–456.
13. Study on caloric values of plants in alpine meadow with different degradation degrees [Text] / J. Wen, H. K. Zhou, Z. Chen, B. Q. Yao and etc. // Pratacultural Science. – 2012. – Vol. 29. – P. 1451–1456.
14. Floral, climatic and soil pH controls on leaf ash content in China's terrestrial plants [Text] / W. X. Zan, Y. H. Chen, F. J. Zhao, L. Y. Tang and etc. // Global Ecology and Biogeography. – 2012. – Vol. 21. – P. 376–382.

Получено 09.10.2019

С. П. ВИСОЦЬКИЙ^а, О. В. ФРУНЗЕ^б

ТЕХНОЛОГІЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕКОРАТИВНИХ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН

^а ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^б ДООУ ВПО «Донецький національний університет»

Анотація. Представлено основні механізми фиторемедіації забруднених урбанізованих територій. Досліджено ефективність технології фиторемедіації ґрунтів, забруднених іонами кобальту, марганцю та хрому деякими видами декоративних трав'янистих рослин. Вивчено динаміку зміни концентрації іонів кобальту, марганцю і хрому в ґрунті в умовах металопресингу. На підставі отриманих даних виявлено види-гіперакумулятори важких металів – *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L., які, завдяки своїй чудовій адаптації на деградованому, забрудненому важкими металами ґрунті, мають високий рівень накопичення біомаси, високу сорбційну здатність, що дає можливість рекомендувати дані види для використання в технології відновлення ґрунтів, забруднених іонами важких металів.

Ключові слова: фиторемедіація, урбанізовані території, важкі метали, сорбційна здатність, декоративні трав'янисті рослини.

SERGEY VYSOTSKY ^a, OKSANA FRUNZE ^b
THE TECHNOLOGY OF PHYTOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED
WITH HEAVY METALS USING DECORATIVE HERBACEOUS PLANTS

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Donetsk National University

Abstract. In the article it has been presented the main mechanisms of phytoremediation of contaminated urbanized areas. It has been studied the effectiveness of the technology of phytoremediation of soils contaminated with cobalt, manganese and chromium ions, by some types of ornamental herbaceous plants. It also has been studied the dynamics of changes in the concentration of cobalt, manganese and chromium ions in the soil under metal pressing conditions. Based on the obtained data, it has been identified the types of heavy metal hyper accumulators – *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, *Alyssum maritimum* Lam., *Brassica napus* L., *Cosmos sulphureus* Cav., *Linum usitatissimum* L., *Atriplex hortense* L., which, due to their excellent adaptability to degraded, contaminated with heavy metals, soil have a high level of biomass accumulation, high sorption capacity, which makes it possible to recommend these species for use in the technology of restoration of soils contaminated with heavy metal ions.

Key words: phytoremediation, urban areas, heavy metals, sorption ability, decorative herbaceous plants.

Высоцкий Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: пути решения проблем экологической безопасности. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Фрунзе Оксана Валентиновна – старший преподаватель кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Научные интересы: технология фиторемедиации почв, загрязненных ионами тяжелых металлов с помощью декоративных травянистых растений и газонных трав.

Висоцький Сергій Павлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри техносферної безпеки ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: шляхи вирішення проблем екологічної безпеки. Екологічна безпека будівництва та міського господарства

Фрунзе Оксана Валентинівна – старший викладач кафедри фізіології рослин ДОНУ ВПО «Донецький національний університет». Наукові інтереси: технологія фіторемедіації ґрунтів, забруднених іонами важких металів за допомогою декоративних трав'янистих рослин і газонних трав.

Vysotsky Sergey – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: ways to solve environmental safety problems. Environmental safety of construction and urban economy.

Frunze Oksana – Senior Lecturer, Plant Physiology Department, Donetsk National University. Scientific interests: phytoremediation technology of soils contaminated with heavy metal ions using ornamental herbaceous plants and lawn grasses.

УДК 628.1:628.2

А. С. ТРЯКИНА, М. Ю. ГУТАРОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ НЕСТАБИЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ ДОНБАССА В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

Аннотация. В статье приведен анализ работы коммунального предприятия «Компания "Вода Донбасса"» в условиях боевых действий, обоснованы возможные факторы риска, снижающие безопасность и надежность систем водоснабжения. Рассмотрены проблемы водоснабжения городов Донбасса в военное время. Выявлено, что повреждения и разрушения объектов и инфраструктуры системы электроснабжения занимают значительную часть в общем количестве причин нарушения работы систем водоснабжения и водоотведения. Проанализированы зафиксированные происшествия по типу пострадавшей инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения. Выявлено, что военные действия оказывают не прямое влияние на физически изношенную инфраструктуру системы водоснабжения, повышая эксплуатационную нагрузку, что приводит к росту отказов данной системы.

Ключевые слова: система водоснабжения, система водоотведения, надежность, безопасность, города Донбасса

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

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

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Система водоснабжения Донбасса – это уникальный комплекс водопроводных и гидротехнических сооружений [6, 8, 9, 11–13]. С весны 2014 года и по настоящее время объекты и инфраструктура данной системы находятся в зоне постоянных боевых действий, что оказывает огромное влияние на качество воды и ее доступность [1–7]. Значительные повреждения за это время получили объекты канала Северский Донец – Донбасс [5, 6]. Трубопроводы, оборудование и здания инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения и до начала военного конфликта находились в состоянии повышенного физического износа [11–13], а в процессе конфликта их состояние только усугубилось. В результате этого ухудшается качество услуг водоснабжения, от чего страдает население региона, и без того находящееся в сложных жизненных условиях [1–4, 10].

Целью работы является выявление основных отрицательных факторов функционирования систем водоснабжения и водоотведения в условиях военных действий для дальнейшего выполнения оценки рисков работы данных систем.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Объектом данного исследования является система водоснабжения городов Донбасса, которую обслуживает КП «Компания "Вода Донбасса"». Ежедневно данное предприятие поставляет до 1,3 млн м³

© А. С. Трякина, М. Ю. Гутарова, 2019

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

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

Услуги водоснабжения, предоставляемые данным предприятием, особенно уязвимы и подвержены воздействию ввиду специфической конфигурации инфраструктуры, состояния и месторасположения объектов, а также затруднительного финансового положения компании. Как результат, устаревшие технологии и оборудование снижают эффективность функционирования систем и увеличивают вероятность технических и технологических сбоев, а близость к линии боевых действий приводит к прямым повреждениям инфраструктуры предприятия. Экономические санкции, ограничения и отсутствие условий безопасности препятствуют проведению регулярного технического обслуживания и нормальной эксплуатации, а также подвергают риску жизнь персонала предприятия. Несмотря на все сложности, предприятие осуществляет свою деятельность в течение всего времени протекания вооруженного конфликта и продолжает обеспечивать своих потребителей водой.

В начале конфликта места активных боевых действий были разбросаны по территории Донбасса. В 2014–2015 годах в городах Славянске, Горловке, Ясиноватой, Дебальцево, Иловайске, Донецке и их окрестностях шли активные бои, а с 2015 года линия соприкосновения оставалась относительно неизменной с периодическими локальными обострениями. Горячие точки в настоящее время находятся в районах Горловки, Авдеевки, Ясиноватой, западной части Донецка, а также в небольших населенных пунктах к востоку от Волновахи и Мариуполя.

Повреждения объектов и инфраструктуры электроснабжения происходят часто и отличаются особой критичностью, так как при отсутствии электричества невозможны такие важные технологические процессы, как очистка питьевой воды, транспортировка ее потребителю, очистка сточных вод и перекачивание их на очистные сооружения. Важно отметить, что 40 % всех происшествий, связанных с конфликтом и повлиявших на инфраструктуру систем водоснабжения и водоотведения, которые были зафиксированы, касались нарушения электроснабжения объектов данных систем. При таких происшествиях возможно два варианта развития событий. В первом варианте будет осуществлено переключение объектов на резервную линию электропитания и технологический процесс не прервется, но объект останется без резервной мощности. Во втором варианте при отсутствии резервной линии при повреждении воздействие будет серьезным, что может привести к полному прекращению технологических операций и остановке всех систем, также резкая остановка может под-

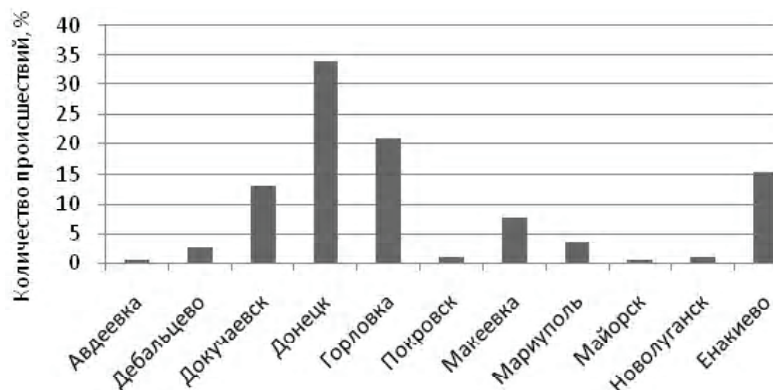


Рисунок 1 – Распределение происшествий, связанных с конфликтом, по городам Донбасса.

вергнуть оборудование и гидротехнические сооружения повышенной рабочей нагрузке. На рис. 1 представлено месторасположение связанных с конфликтом происшествий, в том числе эвакуация и потери среди персонала КП «Компания "Вода Донбасса"», прямые повреждения инфраструктуры водоснабжения и водоотведения, а также отключение электроснабжения, которые были зафиксированы в течение 2014–2016 гг.

Количество происшествий, связанных с нарушением работы

объектов и систем водоснабжения и водоотведения (повреждения трубопроводов и оборудования, зданий инфраструктуры), составило 23 % от общего числа происшествий. На рисунке 2 показано распределение зафиксированных происшествий с 2014 года по 2016 год по типу пострадавшей инфраструктуры систем водоснабжения и водоотведения, в том числе прямые повреждения инфраструктуры, эвакуация персонала, отключение электроснабжения, человеческие потери.

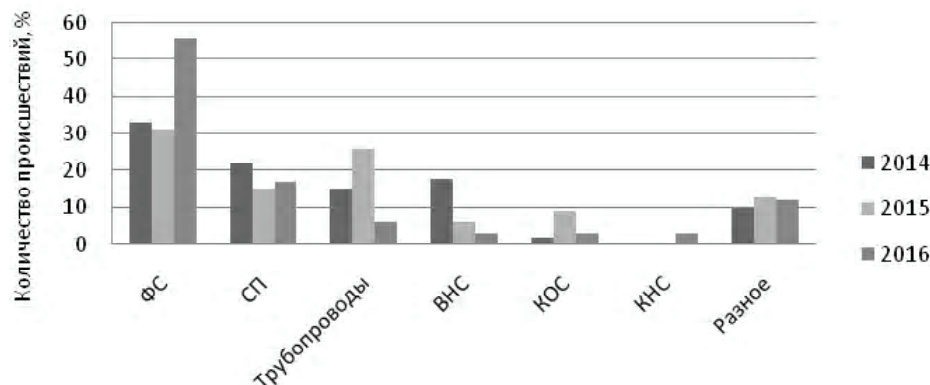


Рисунок 2 – Распределение происшествий, связанных с конфликтом, по типу пострадавшей инфраструктуры (ФС – фильтровальные станции; СП – станции подъема; ВНС – водопроводные насосные станции; КОС – канализационные очистные сооружения; КНС – канализационные насосные станции).

Прямые попадания снарядов испытали на себе пять из восьми станций подъема канала Северский Донец – Донбасс и Южно-Донбасского водовода, а также более половины из 18 фильтровальных станций. В настоящее время три станции подъема, а также Донецкая, Верхнекальмиусская, Макеевская, Новолуганская и обе Горловские фильтровальные станции расположены в таких районах, где часто бывают обстрелы. На рисунке 3 приведены последствия обстрелов объектов системы водоснабжения региона.

Физический износ систем водоснабжения и водоотведения также оказывает значительное влияние на безопасность и надежность их функционирования. Военные действия лишь усугубляют данное положение, оказывая не прямое воздействие и повышая эксплуатационную нагрузку на инфраструктуру.

В основном все водоводы, которые обслуживает КП «Компания "Вода Донбасса"», изготовлены из стали. Защита от коррозии данных трубопроводов осуществляется системой контроля электрохимической коррозии. Однако в некоторых районах станции такого контроля уже не функционируют вследствие военных действий. Следовательно, возможно, что состояние трубопроводов, оставшихся без защиты от коррозии, будет ухудшаться более стремительно.

Резкие изменения расхода воды в сетях, происходящие в результате остановок и запусков насосов или после экстренного закрытия задвижки, могут вызывать гидравлический удар, при котором происходит скачок давления, превышающий проектное давление трубопроводов и оборудования. В условиях повышенного количества остановок насосов из-за перебоев с электроснабжением, как описано выше, частота гидравлических ударов ускоряет износ материалов и оборудования, которые зачастую и так уже близки к концу срока своей нормальной эксплуатации, и значительно увеличивает количество утечек, а также приводит к необходимости замены задвижек и соответствующих вспомогательных приспособлений.

Дезинфекция воды является одной из важных ступеней ее очистки для питьевых целей. Процесс очистки на большинстве фильтровальных станций основан на использовании хлора, технологически устаревшего дозирующего оборудования и негерметичных баков-смесителей. Жидкий хлор, используемый для очистки воды и сточных вод, является опасным веществом. В нынешней ситуации компания проявляет осторожность и ограничивает количество контейнеров с хлором, которые хранятся на объектах повышенного риска, хотя чрезвычайная ситуация в случае прямого попадания представляет собой значительный риск.

Проблема транспортировки и своевременной доставки химических реагентов на фильтровальные станции также влияет на надежность и безопасность водоснабжения населения Донбасса. Многие объекты близко расположены к линии разграничения, и не всегда есть возможность заблаговременной доставки реагентов, а отсутствие хлора на фильтровальной станции может привести к тому, что



Рисунок 3 – Последствия обстрелов объектов системы водоснабжения: а) поврежденный напорный трубопровод канала Северский Донец – Донбасс диаметром 2 500 мм; б) поврежденный хлоропровод; в) разрушения в здании фильтров Донецкой фильтровальной станции; г) разрушения в лаборатории Донецкой фильтровальной станции.

население будет получать техническую воду не пригодную для питья. На сегодняшний день такие ситуации устранялись до того момента, как на станции заканчивались запасы этого важного реагента.

ВЫВОДЫ

Проанализировав зафиксированные происшествия на инфраструктуре систем водоснабжения и водоотведения, выявлено, что наиболее распространенными причинами отказов данных систем являются отключение электроснабжения и повреждения трубопроводов, оборудования и зданий инфраструктуры; транспортировка и несвоевременная доставка на очистные сооружения реагентов, необходимых для подготовки питьевой воды и очистки сточных вод. Вследствие военных действий значительно увеличилась эксплуатационная нагрузка на системы водоснабжения и водоотведения, которые и до начала военных действий имели значительный физический износ. Весь этот комплекс отрицательных факторов в работе системы водоснабжения региона несет большую угрозу жизни и здоровью населения. Данная работа предвещает выполнение оценки рисков функционирования систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса в условиях военного конфликта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peter, H. Gleick. Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security [Text] / Peter H. Gleick // International Security. – 1993. – Vol. 18, No. 1. – P. 79–112.
2. Tignino, M. Water, International Peace and Security [Electronic resource] / M. Tignino // International Review of the Red Cross. – 2010. – Vol. 92, No. 879. – Access mode : <http://www.icrc.org/eng/assets/files/review/2010/irrc-879-tignino.pdf>.
3. Zolnikov, T. R. The Maladies of Water and War: Addressing Poor Water Quality in Iraq [Electronic resource] / T. R. Zolnikov // Am J Public Health. – 2013. – 103(6). – Access mode : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3698740/>.

4. Potential impact of conflict on health in Iraq [Text] // World Health Organization. – [2003]. – Access mode : https://www.who.int/features/2003/iraq/briefings/iraq_briefing_note/en/.
5. Дрозд, Г. Я. К вопросу оценки технического состояния строительных объектов в условиях поражающих факторов [Текст] / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – 2019. – № 14(57). – С. 55–70.
6. КП «Компания "Вода Донбасса"» [Электронный ресурс]. – [2000–2019]. – Режим доступа : <http://www.voda.dn.ua/ru/>.
7. Высоцкий, С. П. Критические экологические проблемы Донбасса [Текст] / С. П. Высоцкий // Экологическая ситуация в Донбассе. – 2016. – Том 1. – С. 301–309.
8. Коршикова, И. А. Состояние водных ресурсов Донецкой области и их диагностика [Текст] / И. А. Коршикова // Економічний вісник Донбасу. – 2011. – № 1(23). – С. 27–30.
9. Сатин, И. В. Исследование гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс [Текст] / И. В. Сатин, А. С. Трякина // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2014. – Вып. 2014-5(109) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 5–11.
10. WHO/UNICEF. Progress on drinking water and sanitation [Electronic resource] : Joint Monitoring Programme update 2014 / WHO/UNICEF // Water Sanitation and Health (WSH). – 2014. – 78 p. – Access mode : https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2014/jmp-report/en/.
11. Маслак, В. Н. Трубопроводы водоснабжения: вопросы проектирования, строительства и рациональной эксплуатации [Текст] / В. Н. Маслак, Н. И. Зотов. – Донецк : Вебер, 2007. – 462 с.
12. Водоснабжение [Текст] / С. Б. Никиша, Н. Г. Насонкина, Н. П. Омельченко, В. Н. Маслак и др. – Донецк : ООО «Норд Комп'ютер», 2006. – 654 с.
13. Найманов, А. Я. О надежности систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / А. Я. Найманов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 7. – С. 30–35.

Получено 08.10.2019

А. С. ТРЯКИНА, М. Ю. ГУТАРОВА
 АНАЛІЗ ФАКТОРІВ НЕСТАБІЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТ
 ДОНБАСУ У ВОЄННИЙ ЧАС
 ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті наведено аналіз роботи комунального підприємства «Компанія "Вода Донбасу"» в умовах, що склалися, обґрунтовані можливі фактори ризику, що знижують безпеку і надійність систем водопостачання. Проаналізовано проблеми водопостачання міст Донбасу, пов'язані з впливом збройного конфлікту. Виявлено, що ушкодження і руйнування об'єктів і інфраструктури системи електропостачання займають значну частину в загальній кількості причин порушення роботи систем водопостачання і водовідведення. Проаналізовано розподіл зафіксованих подій за типом постраждалої інфраструктури систем водопостачання та водовідведення. Виявлено, що військові дії мають непрямої вплив на фізично зношену інфраструктуру системи водопостачання, підвищуючи експлуатаційне навантаження, що призводить до зростання відмов даної системи.

Ключові слова: система водопостачання, система водовідведення, надійність, безпека, міста Донбасу.

ALYONA TRYAKINA, MARINA GUTAROVA
 ANALYSIS OF THE FACTORS OF UNSTABLE WATER SUPPLY OF THE CITIES
 OF DONBAS IN WAR TIME
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article provides an analysis of the operation of the utility company «Company "Water of Donbas"» in the conditions of hostilities, substantiates possible risk factors that reduce the safety and reliability of water supply systems. The problems of water supply in the cities of Donbas in wartime are considered. It was revealed that damage and destruction of facilities and infrastructure of the power supply system, occupies a significant part in the total number of causes of disruption of water supply and sanitation systems. The recorded incidents were analyzed by the type of affected infrastructure of water supply and sanitation systems. It was revealed that military operations have an indirect effect on the physically worn-out infrastructure of the water supply system, increasing the operational load, which leads to an increase in the failures of this system.

Key words: water supply system, sanitation system, reliability, safety, the city of Donbas.

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

БАЛИНЧЕНКО О. И., ПУЗИК И. В. Продленная упрощенная аэрация при обезжелезивании подземной воды	5
ЛУКЬЯНОВ А. В. Оценка влияния выбросов локальных котельных систем теплоснабжения на окружающую среду	12
ОРЛОВ С. М., РОМАНЕНКО Б. Р., ОРЛОВА А. Я. Повышение энергоэффективности циклонов	16
ПЛОТНИКОВ Д. А. Анализ проблемы образования отходов шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде в условиях ДНР	26
ДОСТОВАЛОВА Д. А., ПОДГОРОДЕЦКИЙ Н. С. Мониторинг теплового состояния отвала горных пород шахты им. М. И. Калинина	32
УДОВИЧЕНКО З. В., САВИЧ Д. В., МИХАЙСКАЯ О. В. Оценка и определение комфортности микроклимата жилых и общественных зданий	40
ЧАЙКА Л. В. Анализ причин негативного влияния автомоек на состояние окружающей среды города Макеевки	47
РИПНАЯ М. М., СЕРДЮК А. И. Изучение влияния осадителей на осаждение свинца из сточных вод	53
ДОЛГОВ Н. В., ВЫБОРНОВ Д. В., УДОВИЧЕНКО З. В. Математическое моделирование комбинированного источника тепла с гелиоколлектором для системы горячего водоснабжения	58
БАШЕВАЯ Т. С., ШЕЙХ А. А. Анализ уровня воздействия строительного производства в границах строительных площадок	67
ЮРЧЕНКО В. В., ШЕСТАВИН Н. С., НЕДОПЕКИН Ф. В. Экологические риски реализации на Донбассе технологий геологического хранения диоксида углерода	73
КАЛИНИХИН О. Н. Природоохранные аспекты внедрения технологии сжигания водоугольного топлива	84
КЛЯУС Б. В., ВЫБОРНОВ Д. В., ПЛУЖНИК А. В. Влияние параметров формирования приточных вентиляционных струй на показатели микроклимата в помещении	90
ВЫСОЦКИЙ С. П., ГОЛОВАТЕНКО Е. Л. Экологические параметры систем теплоснабжения	97
ВЫСОЦКИЙ С. П., ФРУНЗЕ О. В. Технология фиторемедиации загрязненных тяжелыми металлами почв с помощью декоративных травянистых растений	105
ТРЯКИНА А. С., ГУТАРОВА М. Ю. Анализ факторов нестабильного водоснабжения городов Донбасса в военное время	113

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

БАЛІНЧЕНКО О. І., ПУЗІК І. В. Продовжена спрощена аерація при знезалізненні підземної води	5
ЛУК'ЯНОВ О. В. Оцінка впливу викидів локальних котелень систем теплопостачання на навколишнє середовище	12
ОРЛОВ С. М., РОМАНЕНКО Б. Р., ОРЛОВА А. Я. Підвищення енергоефективності циклонів	16
ПЛОТНИКОВ Д. О. Аналіз проблеми утворення відходів шахтних саморятівників на хімічно пов'язаному кисні в умовах ДНР	26
ДОСТОВАЛОВА Д. О., ПОДГОРОДЕЦЬКИЙ М. С. Моніторинг теплового стану відвалу гірських порід шахти ім. М. І. Калініна	32
УДОВИЧЕНКО З. В., САВІЧ Д. В., МИХАЙСЬКА О. В. Оцінка і визначення комфортності мікроклімату житлових і громадських будівель	40
ЧАЙКА Л. В. Аналіз причин негативного впливу автомийок на стан навколишнього середовища міста Макіївки	47
РІПНА М. М., СЕРДЮК О. І. Вивчення впливу осаджувачів на осадження свинцю зі стічних вод	53
ДОЛГОВ М. В., ВИБОРНОВ Д. В., УДОВИЧЕНКО З. В. Математичне моделювання комбінованого джерела тепла з геліоколекторами для системи гарячого водопостачання	58
БАШЕВА Т. С., ШЕЙХ О. О. Аналіз рівня впливу будівельного виробництва в межах будівельних майданчиків	67
ЮРЧЕНКО В. В., ШЕСТАВІН М. С., НЕДОПЕКІН Ф. В. Екологічні ризики реалізації на Донбасі технологій геологічного зберігання діоксиду вуглецю	73
КАЛІНІХІН О. М. Природоохоронні аспекти впровадження технології спалювання водовугільного палива	84
КЛЯУС Б. В., ВИБОРНОВ Д. В., ПЛУЖНИК А. В. Вплив параметрів формування припливних вентиляційних струменів на показники мікроклімату в приміщенні	90
ВИСОЦЬКИЙ С. П., ГОЛОВАТЕНКО К. Л. Екологічні параметри систем теплопостачання	97
ВИСОЦЬКИЙ С. П., ФРУНЗЕ О. В. Технологія фіторе mediaції забруднених важкими металами ґрунтів за допомогою декоративних трав'янистих рослин	105
ТРЯКІНА А. С., ГУТАРОВА М. Ю. Аналіз факторів нестабільного водопостачання міст Донбасу у воєнний час	113

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

BALYNCHENKO OKSANA, PUZYK IGOR. Extended Simplified Aeration in the process of Underground Water Deironing	5
LUKYANOV ALEXANDER. Assessment of the Impact of Emissions of Local Boiler Systems of Heat Supply on the Environment	12
ORLOV STANISLAV, ROMANENKO BORIS, ORLOVA ALLA. Cyclones Energy Efficiency Improvement	16
PLOTNIKOV DENYS. Analysis of the Problem of Waste Formation of Mine self-rescuers on Chemically bound Oxygen in the conditions of the DPR	26
DOSTOVALOVA DARIA, PODGORODETSKY NICHOLAS. Monitoring the Thermal State of the Rock Dump of M. I. Kalinin Mine	32
UDOVICHENKO ZLATA, SAVICH DARYA, MIKHAISKAYA OKSANA. Assessment and Determination of the Microclimate Comfort of Residential and Public Buildings	40
CHAYKA LYUDMILA. The Reasons Analysis of the Negative Ecological Impact of Carwashes on the Environmental Condition of Makeyevka	47
RIPNA MARGARITA, SERDYUK ALEXANDER. The Study of the Precipitating Effect on the Lead Deposition from Waste Water	53
DOLGOV NIKOLAY, VYBORNOV DMITRY, UDOVICHENKO ZLATA. Mathematical Modeling of a Combined Heat Source with a Solar Collector for a Hot Water System	58
BASHEVAYA TATIANA, SHEIKH ALEXANDRA. Analysis of the Level of Impact of Construction Production within the Boundaries of Construction Sites	67
YURCHENKO VIKTORIA, SHESTAVIN NIKOLAY, NEDOPEKIN FEDOR. Ecological Risks of Implementation at the Donbas of Technologies of Geological Storage of Carbon Dioxide	73
KALINIHIN OLEG. Environmental Aspects of the Implementation of Technology for Burning Coal-Fired Fuel	84
KLYAUS BOGDAN, VYBORNOV DMITRY, PLUZHNIK ANASTASIA. The Influence of the Parameters of the Formation of Supply Ventilation Jets on the Indoor Climate	90
VYSOTSKY SERGEY, GOLOVATENKO EKATERINA. Environmental Parameters of Heat Supply Systems	97
VYSOTSKY SERGEY, FRUNZE OKSANA. The Technology of Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals using Decorative Herbaceous Plants	105
TRYAKINA ALYONA, GUTAROVA MARINA. Analysis of the Factors of Unstable Water Supply of the Cities of Donbas in War Time	113

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.