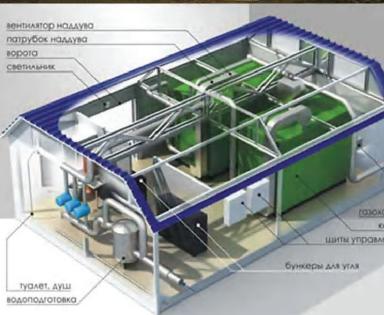
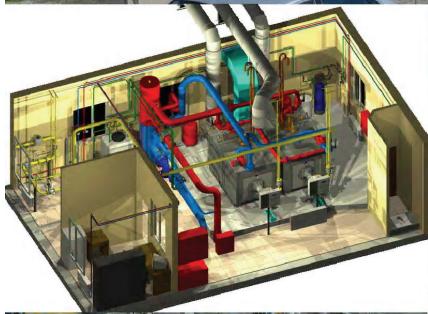


ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



Выпуск 2018-5(133)

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры"

ВЕСТНИК
Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издаётся с декабря 1995 года
Выходит 8 раз в год

Выпуск 2018-5(133)

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Макеевка 2018

ДОУ ВПО "Донбаська національна академія
будівництва і архітектури"

ВІСНИК

**Донбаської національної академії
будівництва і архітектури**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Видається з грудня 1995 року
Виходить 8 разів на рік

Випуск 2018-5(133)

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ
ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2018

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 29.10.2018 г.

Редакционный совет:

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

Редакционная коллегия:

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

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

Подписано к выпуску 19.11.2018

Адрес редакции и издателя

86123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2,
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»
Телефоны: (0622) 90-29-38; (0623) 22-20-51, (0623) 22-24-67
Тел/факс: (0623) 22-06-16, 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», 2018

Засновник і видавець

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

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

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

Випускається за рішенням Вченої ради
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Протокол № 2 від 29.10.2018 р.

Редакційна рада:

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

Редакційна колегія:

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

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

Підписано до випуску 19.11.2018

Адреса редакції і видавця
86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Телефони: (0622) 90-29-38; (0623) 22-20-51, (0623) 22-24-67
Тел/факс: (0623) 22-06-16, E-mail: vestnik@donnasa.ru,
<http://vestnik.donnasa.ru>

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

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

© ДОУ ВПО «Донбаська національна
академія будівництва і архітектури», 2018

УДК 678.686

Е. Э. САМОЙЛОВА, А. В. МАСЛОВА, Д. А. ДЕНИСЕНКО
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Аннотация. В процессе работы проведены исследования по определению количественного состава газовых выбросов производства эпоксидных смол и материалов на их основе, проведены исследования по разработке способа очистки газовых выбросов.

Ключевые слова: эпихлоргидрин, углеадсорбционный способ, мономеры, эпоксидные смолы, эпоксиволачные смолы, олигомеры, полимерные материалы.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе производства полимерных материалов и их переработки образуются паровоздушные смеси, содержащие мономеры, органические компоненты, растворители. В ряде случаев эти вещества выбрасываются с предварительной очисткой газов, однако содержание органических паров после очистки иногда достигает 1 г/м³ и более. В других случаях предварительная очистка отсутствует, а концентрация загрязнителя составляет 0,1 – 80 г/м³ [1, 2].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка способа очистки газовых выбросов в производстве эпоксиволачных смол.

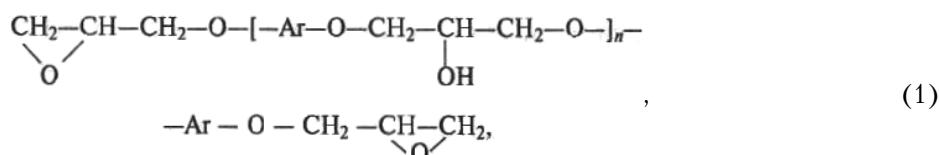
Основными источниками образования больших количеств газовых выбросов с низким содержанием летучих органических веществ являются: несовершенство технологических процессов, отсутствие разработок безотходной технологии; стремление к разбавлению выбросов большими потоками воздуха для получения низких концентраций загрязнителя; недостаточная эффективность аппаратуры улавливания вследствие перегрузки или недостаточно квалифицированной эксплуатации.

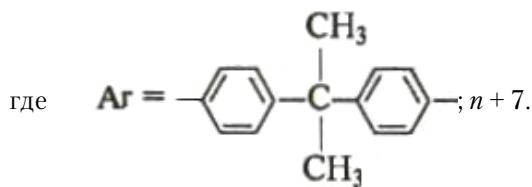
Эпоксидная смола – олигомеры или полимерные растворы, содержащие не менее двух эпоксидных или глицидиловых групп, которые расположены на концах и вдоль основной цепи молекулы либо в кольце алицикла и способны под действием отвердителей образовывать спицовые полимеры.

Эпоксидные смолы и олигомеры в подавляющем большинстве случаев синтезируют реакцией замещения эпихлоргидрина с многоатомными спиртами и фенолами или многоатомными аминами – соединениями, содержащими активный атом водорода.

Наибольшее практическое и широкое применение для получения эпоксидных смол нашли дифенилолпропан и эпихлоргидрин. Реакция протекает в щелочной среде в присутствии раствора NaOH.

При взаимодействии дифенилолпропана с эпихлоргидрином образуется полимер с прямой цепью, характеризующийся двумя функциональными группами – эпоксидной и гидроксильной. Строение неутверждённых эпоксидных смол может быть выражено следующей формулой:





Эпоксиноволачные смолы получаются при совместном нагревании эпихлоргидрина и новолачных смол (фенолформальдегидных). Новолачные смолы получают в кислой среде в присутствии катализаторов – соляной, щавелевой кислот, реже H_2SO_4 , при избытке фенола. Новолачные смолы – линейные олигомеры, в молекулах которых фенольные ядра соединены друг с другом метиленовыми мостиками.

Эпоксиволачные смолы применяются при получении связующих для компаундов, клеев, стеклопластиков, с повышенной тепло- и химической стойкостью, улучшенными диэлектрическими свойствами [4].

Выбор оптимального способа очистки газовых выбросов зависит от многих факторов, главным из которых являются состав и концентрация в выбросах вредных компонентов, объем выбросов.

Для обезвреживания газовых выбросов производства эпоксинировочных смол от эпихлоргидрина перспективным направлением является углеадсорбционная очистка.

В промышленной практике адсорбционный метод используется чаще всего, его преимущества перед другими способами заключаются в следующем: сравнительно большая активность адсорбента по парам органических веществ при небольших концентрациях примесей в газе; относительно простая регенерация адсорбентов; высокая степень очистки; сравнительно небольшие эксплуатационные расходы при рекуперации растворителей; небольшие капитальные затраты на строительство установок обезвреживания [5, 6].

Применение углеадсорбционного метода позволит решить вопрос о рекуперации эпихлоргидрина из газовых выбросов производства эпоксидных смол и возвращения его в производство.

Исследования по разработке способа очистки газовых выбросов производства эпоксиноволачных смол от эпихлоргидрина проводили на лабораторной установке.

Схема адсорбционной лабораторной установки по очистке газовых выбросов от эпихлоридрина приведена на рисунке.

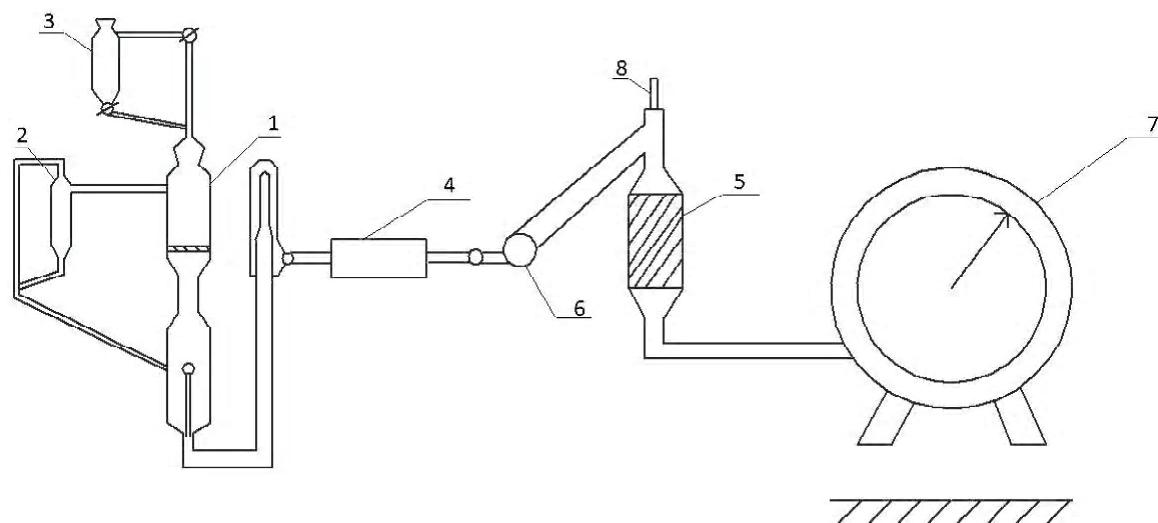


Рисунок – Схема лабораторной адсорбционной установки: 1 – клапан дозировочный; 2 – ловушка; 3 – воронка; 4 – барабанная печь; 5 – колонка адсорбционная; 6 – смеситель; 7 – газовый счетчик; 8 – термометр.

Опыты проводили с использованием паровоздушных смесей, которые получали смешением паров эпихлоргидрина с потоком сжатого воздуха. Пары эпихлоргидрина получали путем испарения при заданной температуре. Для работы использовали уголь марки АР-А ГОСТ 8703-74.

Статистическую и динамическую адсорбционную емкость активного угля определяли экспериментальным путем. Статическую активность устанавливали по достижению равновесия между начальной (C_n) и конечной (C_k) концентрациями эпихлоргидрина в паровоздушной смеси: $(C_n) = (C_k)$.

Емкость угля в % определяли по формуле:

$$a = (q / G) \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где q – привес угля после пропускания паровоздушной смеси, г;
 G – первоначальный вес угля, г.

Динамическую емкость угля определяли по «проскоку» паров после адсорбционной колонки, а также по привесу угля в контрольной колонке, установленной после рабочей.

За величину линейной скорости потока приняли фиктивную скорость паровоздушной смеси в расчете на полное сечение адсорбера, определяемой по формуле:

$$\omega = V/S, \text{ м} \quad (3)$$

где V – объем паровоздушной смеси, пропущенной через адсорбер в единицу времени, м^3 ;
 S – полное сечение адсорбера, м^2 .

Время защитного действия слоя угля (или время насыщения угля) определили по формуле:

$$\tau = G(x_k - x_n) / (\omega \cdot S \cdot \rho_{cm} (C_n - C_k)), \quad (4)$$

где G – масса угля, кг;
 x_k, x_n – концентрация адсорбционного вещества в конечный и начальный момент, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 ω – фиктивная скорость паровоздушной смеси, $\text{м}/\text{с}$;
 S – площадь поперечного сечения адсорбера, м^2 ;
 ρ_{cm} – плотность парогазовой смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Регенерацию угля проводили перегретым водяным паром, полученным в пароперегревателе с регулируемым электрообогревом при температуре 160...180 °C. Скорость подачи пара не менее 0,05 м/с.

При десорбции эпихлоргидрина из активных углей после конденсации образуется расслаивающийся десорбат, состоящий из верхнего слоя и нижнего эпихлоргидринового.

Исследование состава десорбата при температуре в слое угля 160 °C проводили после выбора основных параметров пара – температуры, скорости и расхода. Десорбат отбирали по фракциям и проводили анализ каждой фракции на содержание основного вещества.

При производстве эпоксиноволачной смолы УП-692 образуются газовые выбросы, содержащие эпихлоргидрин (ЭХГ) и метилизобутилкетон. В таблице 1 приведена физико-химическая характеристика газовых выбросов производства смолы УП-692.

Таблица 1 – Физико-химическая характеристика газовых выбросов производства смолы УП-692

| Наименование выброса | К-во источников выброса | Суммарный объем отходящих газов, $\text{м}^3/\text{ч}$ | Характеристика выброса | |
|---------------------------------------|-------------------------|--|-------------------------------|--------|
| | | | Состав $\text{мг}/\text{м}^3$ | кг/час |
| Газовые выбросы на стадии отгона ЭХГ | 1 | 145 | ЭХГ 12 500 | 1,812 |
| Газовые выбросы на стадии сушки смолы | 1 | 145 | Метилизобутилкетон 245 | 0,355 |

В настоящее время очистка газовых выбросов производства эпоксидных смол от эпихлоргидрина осуществляется методом адсорбции с использованием скрубберных систем с поглощением органических примесей водным раствором щелочи. Степень очистки – 80 %. Полученные растворы обезвреживаются термическим методом или после разбавления водой подают на биологическую очистку.

Неполная степень очистки, большая кратность разбавления полученных растворов требуют большого количества воды и применения термического метода обезвреживания отходов, а это в свою очередь загрязняет атмосферу и является большим недостатком этого способа очистки газовых выбросов в производстве эпоксидных смол.

Так как газовые выбросы производства эпоксиноволачных смол содержат до 12,5 г/м³ эпихлоргидрина, то это дает полное право применить углеадсорбционный метод очистки с целью рекуперации эпихлоргидрина и возвращения его в основное производство.

Характеристика используемого угля марки АР-А представлена в таблице 2. Константы уравнения изотермы адсорбции взяты из работы [7].

Таблица 2 – Адсорбционные характеристики угля АР-А

| Параметры пористой структуры, см ³ /ч | | | | Константы уравнения изотермы адсорбции | | | Водородный показатель водной вытяжки, ед. pH |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|--|------|-------------------|--|
| V _Σ | V _{микро} | V _{мезо} | V _{макро} | W _n | B | K 10 ³ | |
| 0,77 | 0,32 | 0,44 | 0,36 | 0,345 | 9,15 | 1,4 | 9,3 |

ВЫВОДЫ

Из вышеизложенного следует, что при содержании эпихлоргидрина до 12,5 г/м³ в газовых выбросах производства эпоксиноволачных смол целесообразно применять углеадсорбционный метод очистки с целью рекуперации эпихлоргидрина и возвращения его в основное производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бристон, Дж. Х. Полимерные пленки [Текст] / Дж. Х. Бристон, Л. Л. Катан. – 3-е изд. / Пер. с англ. – М. : Химия, 1993. – 384 с. – С. 356–359.
- Дринберг, С. А. Растворители для лакокрасочных материалов [Текст] : справочное пособие / С. А. Дринберг, Э. Ф. Ицко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1986. – 208 с. – С. 108.
- Леоненко, В. К. Очистка отходящих газов от органических примесей в производстве синтетических жирных кислот [Текст] / В. К. Леоненко // Промышленная и санитарная очистка газов : научно-техн. сб. – 1976. – Вып. 2. – С. 10.
- Ли, Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам [Текст] / Х. Ли, К. Невилл. – М. : Энергия, 1973. – 416 с.
- Козикова, И. В. Использование каталитического метода обезвреживания органических примесей в газовых выбросах сложного состава [Текст] / И. В. Козикова, В. А. Ермолаева // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 123.
- Чубаров, Д. Н. Адсорбционные методы очистки газов [Текст] / Д. Н. Чубаров // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 192–192.
- Киссаров, В. М. Новое уравнение изотермы адсорбции [Текст] / В. М. Киссаров // ЖРХ. – 1969. – № 4. – С. 1037–1039.

Получено 10.10.2018

О. Е. САМОЙЛОВА, А. В. МАСЛОВА, Д. О. ДЕНИСЕНКО
РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКІДІВ У ВИРОБНИЦТВІ
ЕПОКСИДНИХ СМОЛ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У процесі роботи проведені дослідження щодо визначення кількісного складу газових викидів виробництва епоксидних смол і матеріалів на їх основі, проведені дослідження з розробки способу очищення газових викидів.

Ключові слова: епіхлоргідрин, углеадсорбційний спосіб, мономери, епоксидні смоли, епоксиноволачні смоли, олігомери.

HELEN SAMOJLOVA, ANASTASIA MASLOVA, DARIA DENISENKO
DEVELOPMENT OF METHOD OF CLEANING OF GAS EXTRAS IS IN THE
PRODUCTION OF EPOXY RESINS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In the process of work it has been carried out researches on determination of quantitative composition of gas extras of production of epoxy resins and materials on their basis, it has been also carried out researches on development of method of gas extras cleaning.

Key words: epichlorohydrin, monomers, epoxy resins, cleaning of gas extras, oligomers.

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

Маслова Анастасия Владимировна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка газовых выбросов и твердых отходов промышленности.

Денисенко Дарья Александровна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка газовых выбросов и твердых отходов промышленности.

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

Маслова Анастасія Володимирівна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення газових викидів і твердих відходів в промисловості.

Денисенко Дар'я Олександровна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення газових викидів і твердих відходів в промисловості.

Samojlova Helen – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety; Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical studies of polymer composite materials.

Maslova Anastasia – Master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cleaning of gas extras and hard wastes of industry.

Denisenko Daria – Master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cleaning of gas extras and hard wastes of industry.

УДК 697.9

В. И. ЗАХАРОВ, Ю. А. ГОЛОВАЧ, А. И. ЗНАХАРЯНЦ
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**СОСТОЯНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ, В КОТОРЫХ
УСТАНОВЛЕНЫ ГАЗОВЫЕ ПЛИТЫ, И КРАТНОСТИ ВОЗДУХООБМЕНА,
НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРИВЕДЕНИЯ ЕЕ К НОРМАТИВНЫМ
ТРЕБОВАНИЯМ**

Аннотация. Выполнен анализ состояния воздушной среды в кухнях при работе газовых плит, работающих на природном газе, в продуктах сгорания которого содержатся оксид углерода и окислы азота, рассчитаны необходимая кратность воздухообмена и количество вентилируемого воздуха при использовании плит с серийно выпускаемыми горелками и горелками с дополнительными воздухоподводящими каналами под углом наклона 20°.

Ключевые слова: газовые плиты, оксид углерода, окислы азота, горелка, кратность воздухообмена.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

По оценкам экспертов Всемирной организации здравоохранения, в помещениях непроизводственного типа, в частности в жилище, человек проводит свыше 80 % своего времени. Таким образом, качество воздуха помещения жилища является одним из самых важных условий сохранения здоровья и работоспособности [1].

Основным недостатком бытовых газовых плит является то, что продукты сгорания газа, в том числе оксиды углерода и азота, поступают непосредственно в помещение кухни. Наличие в воздухе значительных количеств продуктов сгорания при открытом сжигании газа снижает концентрацию кислорода в воздушной среде кухни, что также неблагоприятно сказывается на здоровье человека. Загрязнение воздушной среды кухни продуктами сгорания газообразного топлива может достигать больших величин, учитывая, что при сжигании 1 м³ природного газа расходуется около 2 м³ кислорода и образуется 1 м³ углекислого газа, 2 м³ водяных паров и 7,5 м³ азота. Продукты сгорания, которые образуются в процессе сжигания газообразного топлива, отрицательно влияют на окружающую среду и организм человека, поэтому требуют своевременного удаления из помещений.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В соответствии с [2] при проектировании и строительстве жилых зданий должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие выполнение санитарно-эпидемиологических и экологических требований по охране здоровья людей и окружающей природной среды. Объем воздуха, подаваемый в помещения, в которых установлены только газовые плиты в качестве газоиспользующего оборудования, должен составлять 100 м³/ч.

Согласно [3] в кухнях должна обеспечиваться вытяжка по воздушному балансу квартиры, но не менее 90 м³/ч.

В Мосгазпроекте были проведены исследования горелок бытовых газовых плит различных стран с целью определения вредных компонентов в продуктах сгорания природного газа [4]. В результате проведенных исследований была предложена новая конструкция газовой горелки для бытовой плиты, в которой выполнены воздухоподводящие каналы у смесителя горелки под углом α , что позволило снизить содержание вредных компонентов в продуктах сгорания [5].

Представляет интерес проанализировать, как изменяется необходимая кратность воздухообмена и количество вентилируемого воздуха при использовании плит с серийно выпускаемыми горелками и горелками с пониженным выходом окислов азота.

Целью статьи является анализ состояния воздушной среды в кухнях при работе газовых плит на природном газе, в продуктах сгорания которого содержатся оксид углерода и окислы азота, расчет необходимого воздухообмена при использовании различных типов газовых горелок и сравнение его с нормативными значениями.

В работе [6] отмечено, что количество окислов азота в продуктах сгорания от бытовой газовой плиты зависит от тепловой мощности горелок.

Результаты испытаний для серийно выпускаемой газовой горелки (далее стандартная) бытовой плиты класса ПГ-4 класса 1 «А» приведены в [5] и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NO_x} в продуктах сгорания от тепловой мощности стандартной горелки Q

| | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|
| Тепловая мощность горелки Q , Вт | 814 | 1 326 | 1 745 | 1 799 | 2 326 |
| Концентрация окислов азота x_{NO_x} , мг/м ³ | 21,0 | 33,5 | 38,7 | 40,5 | 44,0 |

При помощи программы CurveExpert 1.3 было получено, что данные таблицы 1 могут быть описаны уравнением следующего вида

$$x_{NO_x} = \exp\left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{Q} - 0,19386831 \cdot \ln Q\right), \quad (1)$$

где Q – тепловая мощность газовой горелки, Вт.

На рисунке 1 показано, как полученная зависимость (1) аппроксимирует данные таблицы 1.

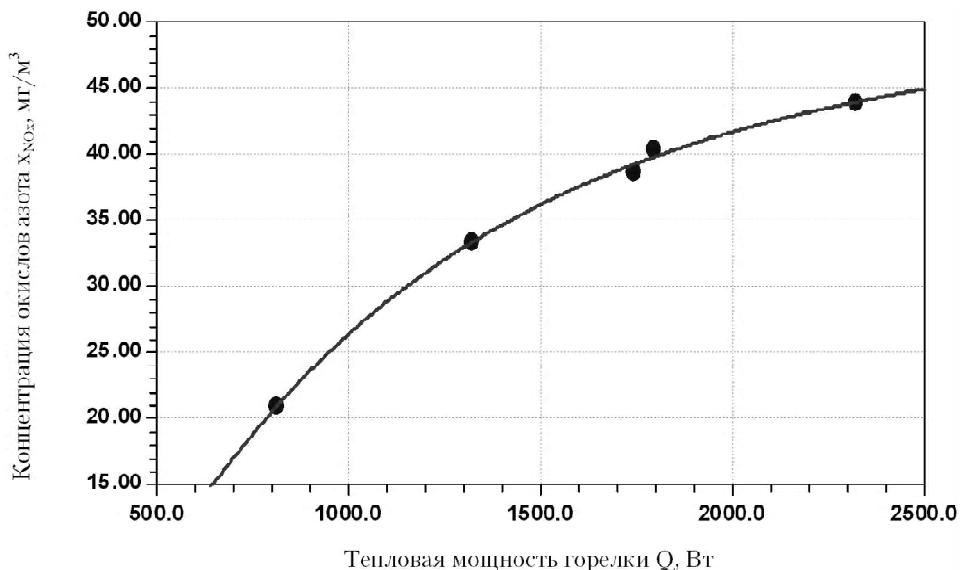


Рисунок 1 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NO_x} в продуктах сгорания от тепловой мощности Q стандартной горелки.

Проверка значимости полученной зависимости (1) производилась с использованием числа Фишера. Число Фишера, рассчитанное по формулам [7], составляет $\hat{F}_y = 318,7127$, а табличное при 1%-ном уровне значимости $F_{(4; 3; 1\%)}^t = 16,6940$, следовательно, уравнение (1) статистически значимо описывает результаты экспериментов, приведенные в таблице 1.

Для определения концентрации окислов азота x_{NO_x} в продуктах сгорания рассмотрим в качестве газового прибора плиту ПГ-4, которая имеет следующие горелки:

- нормальной тепловой мощности 1,9 кВт;

- повышенной тепловой мощности 2,8 кВт;
- пониженной тепловой мощности 0,7 кВт.

Расчет значений концентрации окислов азота x_{NO_x} , мг/м³, в продуктах сгорания производится по уравнению (1) для каждого вида горелки отдельно.

$$x_{NO_x}^{norm} = \exp \left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{1900} - 0,19386831 \cdot \ln 1900 \right) = 40,87 \text{ мг/м}^3;$$

$$x_{NO_x}^{noe} = \exp \left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{2800} - 0,19386831 \cdot \ln 2800 \right) = 46,30 \text{ мг/м}^3;$$

$$x_{NO_x}^{noh} = \exp \left(5,7961336 - \frac{1182,2235}{700} - 0,19386831 \cdot \ln 700 \right) = 17,07 \text{ мг/м}^3.$$

Концентрация окислов азота в продуктах сгорания, (мг/м³), при одновременной работе всех горелок газовой плиты ПГ-4 (двух горелок нормальной тепловой мощности, одной горелки повышенной и одной горелки пониженной тепловой мощности) определяется по формуле:

$$x_{NO_x}^m = \frac{2x_{NO_x}^{norm} \cdot V_C^{norm} + x_{NO_x}^{noe} \cdot V_C^{noe} + x_{NO_x}^{noh} \cdot V_C^{noh}}{2V_C^{norm} + V_C^{noe} + V_C^{noh}}, \quad (2)$$

где V_C^{norm} , V_C^{noe} , V_C^{noh} – количество продуктов сгорания соответственно от горелок нормальной, повышенной и пониженной тепловой мощности, м³/ч.

Расчет выполнен для природного газа, состав которого приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав природного газа

| Компоненты | CH ₄ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | C ₄ H ₁₀ | C ₅ H ₁₂ | N ₂ | CO ₂ | O ₂ |
|---------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Содержание, % | 94,669 | 2,212 | 0,509 | 0,142 | 0,040 | 2,225 | 0,201 | 0,002 |

$$x_{NO_x}^m = \frac{2 \cdot 40,87 \cdot 1,9931 + 46,30 \cdot 2,9373 + 17,07 \cdot 0,7336}{2 \cdot 1,9931 + 2,9373 + 0,7336} = 40,67 \text{ мг/м}^3.$$

Для пересчета концентрации из мг/м³ в %об. воспользуемся формулой:

$$x_{NO_x} = \frac{x_{NO_x}^m}{10000 \cdot \rho_{NO_x}}, \quad (3)$$

где ρ – плотность окислов азота, кг/м³.

$$x_{NO_x} = \frac{40,67}{10000 \cdot 1,491} = 0,00273 \%_{об.}$$

Произведем расчет концентрации окислов азота при использовании усовершенствованной горелки, описанной в [5]. Конструкция смесителя данной горелки, представленная на рисунке 2, обеспечивает дополнительную организацию подачи воздуха непосредственно к корням факелов за счет эжектирующего эффекта высокотемпературных продуктов сгорания.

Для снижения общего температурного уровня, влияющего на выделение вредностей, в зоне образования NO_x в корпусе головки 2 смесителя 1 между огневыми отверстиями 3 были сделаны каналы 4 для подачи воздуха.

Для выбора оптимального угла наклона оси воздухоподводящих каналов были проведены исследования с девятью смесителями с углом наклона оси каналов от 5 до 70°. Давление газа для каждого смесителя изменяли от 196 до 1 765 Па, что соответствовало изменению теплопроизводительности горелки Q от 814 до 2 326 Вт. В процессе анализа полученных результатов было выявлено, что

Рисунок 2 – Смеситель с воздухоподводящими каналами между факелами под углом α к плоскости рабочего стола: 1 – смеситель; 2 – головка; 3 – огневые отверстия; 4 – каналы.

наилучшими теплотехническими и санитарно-гигиеническими показателями обладает смеситель с воздухоподводящими каналами под углом 20°. При давлении $p_r = 1274$ Па и расстоянием от центра огневых отверстий плиты до дна теплоприемника $h = 2,7 \cdot 10^{-2}$ м концентрация $NO_x = 24$ мг/м³, при этом КПД плиты составляет 55,1 % [5].

Результаты измерений концентрации окислов азота при работе горелки с воздухоподводящими каналами под углом 20° (далее усовершенствованная горелка), приведены в [5] и представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NO_x} в продуктах сгорания от тепловой мощности Q усовершенствованной горелки

| | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|
| Тепловая мощность горелки Q , Вт | 814 | 1 326 | 1 745 | 1 799 | 2 326 |
| Концентрация окислов азота x_{NO_x} , мг/м ³ | 13,3 | 21,4 | 22 | 24,4 | 25,3 |

При помощи программы CurveExpert 1.3 было получено, что данные таблицы 3 могут быть описаны уравнением следующего вида

$$x_{NO_x} = 31,835428 - \frac{14902,474}{Q}, \quad (4)$$

где Q – тепловая мощность газовой горелки, Вт.

На рисунке 3 показано, как уравнение (4) аппроксимирует данные таблицы 3.

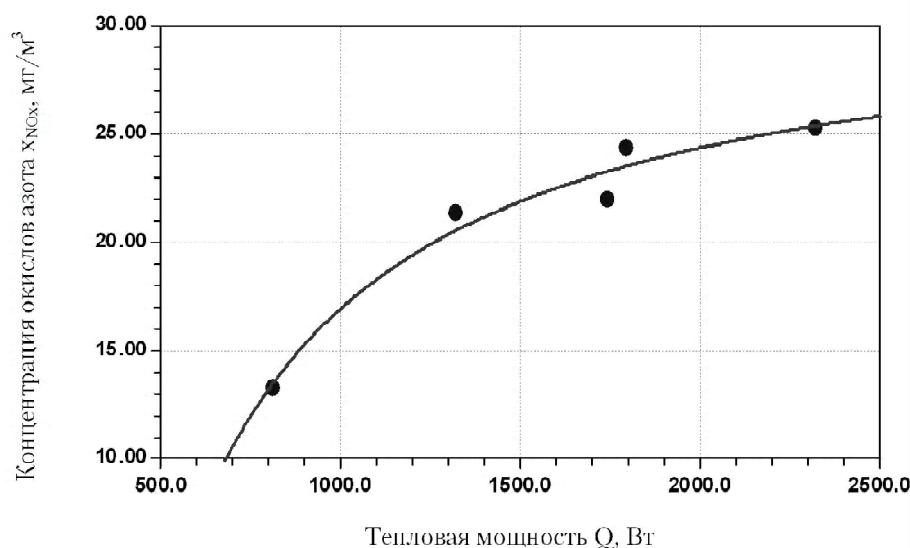


Рисунок 3 – Зависимость концентрации окислов азота x_{NO_x} в продуктах сгорания от тепловой мощности Q усовершенствованной горелки.

Проверка значимости полученной зависимости выполнялась при помощи числа Фишера.

Число Фишера, рассчитанное по формулам [7], составляет $F_y = 21,7225$, а табличное при 1%-ном уровне значимости $F_{(4; 3; 1\%)}^t = 16,6940$, следовательно, уравнение (4) статистически значимо описывает результаты экспериментов, приведенные в таблице 3.

Рассчитаем, как изменится концентрация окислов азота для усовершенствованной горелки при тех же тепловых мощностях горелки плиты ПГ-4 (состав газа указан в табл. 2).

Расчет значений концентрации окислов азота x_{NO_x} , мг/м³, в продуктах сгорания производится по уравнению (4) для каждого вида горелки отдельно.

$$x_{NO_x}^{norm} = 31,835428 - \frac{14902,474}{1900} = 23,99 \text{ мг/м}^3,$$

$$x_{NOx}^{no8} = 31,835428 - \frac{14902,474}{2800} = 26,51 \text{ мг/м}^3;$$

$$x_{NOx}^{no9} = 31,835428 - \frac{14902,474}{700} = 10,55 \text{ мг/м}^3.$$

Концентрация окислов азота в продуктах сгорания, (мг/м³), при одновременной работе всех горелок газовой плиты ПГ-4 (двух горелок нормальной тепловой мощности, одной горелки повышенной и одной горелки пониженной тепловой мощности) определяется по формуле (2).

$$x_{NOx}^m = \frac{2 \cdot 23,99 \cdot 1,9931 + 26,51 \cdot 2,9373 + 10,55 \cdot 0,7336}{2 \cdot 1,9931 + 2,9373 + 0,7336} = 23,67 \text{ мг/м}^3.$$

Пересчет концентрации в %_{об} производится по формуле (3).

$$x_{NOx} = \frac{23,67}{10000 \cdot 1,491} = 0,00159 \%_{\text{об}}.$$

Из расчетов видно, что применение усовершенствованной горелки (рисунок 2) позволило снизить концентрацию окислов азота в продуктах сгорания с 0,00273 до 0,00159 %_{об}.

Необходимая кратность воздухообмена при предельно допустимой концентрации окиси азота в воздухе помещения, которая лимитируется санитарно-гигиеническими требованиями, определяется по формуле, приведенной в [8]:

$$n = \frac{V_{c.c.}}{A} \cdot \frac{x_{\text{приб}}}{x - x_0}, \quad (5)$$

где $V_{c.c.}$ – объем сухих продуктов сгорания при $\alpha = 1$ в м³/ч;

A – объем помещения, м³;

x_0 – содержание компонента в вентилируемом воздухе при его поступлении в помещение, % (по объему). При расчете воздухообмена примем, что количество вредных веществ, поступающих с приточным воздухом, ничтожно мало и им можно пренебречь, т. е. $x_0 = 0$;

x – содержание компонента в воздухе помещения при работе газового прибора в момент времени τ , % (по объему);

$x_{\text{приб}}$ – предельно допустимая концентрация окиси азота в воздухе помещения, % (по объему). Значение ПДК_{с.с.} принимается 0,00000268 %_{об} согласно [9].

Расчет количества вентилируемого воздуха, необходимого для обеспечения поддержания концентрации NO_x ниже предельно допустимой концентрации в воздухе жилых помещений ПДК_{с.с.}, приведен в таблице 4.

Количество вентилируемого воздуха определяется как произведение необходимой кратности воздухообмена на объем кухни.

Из таблицы 4 видно, что использование горелки с воздухоподводящими каналами под углом 20° приводит к снижению количества необходимого вентилируемого воздуха в случае максимальной тепловой нагрузки на плиту на величину почти 42 % по сравнению со стандартной. Однако необходимый воздухообмен для обеспечения допустимых санитарно-гигиенических условий в помещениях кухонь гораздо больше нормативного, что ставит вопрос о необходимости использования дополнительных систем вентиляции.

В соответствии с данными [10] установка вытяжного зонта не позволяет полностью локализовать вредные выделения от газового оборудования, которые распространяются в рабочую зону помещения за счет диффузии. Это также подтверждается данными таблицы 4.

Одним из первых шагов улучшения состояния воздушной среды в помещении кухни является установка вытяжного зонта с механическим побуждением движения воздуха и отводом в вентиляционную шахту [11]. Однако вытяжные зонты (вытяжки) можно использовать только при наличии каналов для подсоединения, то есть при проектировании новых зданий.

В существующих домах возможно использование вытяжек, чаще всего только в режиме рециркуляции, при этом в них следует предусмотреть устройство нейтрализатора, аналогично тем, что используются в двигателях внутреннего сгорания.

Таблица 4 – Требуемое количество воздуха, удаляемого общебменной вентиляцией, для поддержания санитарно-гигиенических условий в зависимости от вида выделяемых вредностей и способа организации воздухообмена

| Объем кухни, м ³ | Тепловая нагрузка на газовую плиту, кВт | Ассимиляция теплонизбытоков | | Поддержание концентрации CO ниже ПДК _с (стандартная горелка) | | Поддержание концентрации NO _x ниже ПДК _с при наличии вытяжного зонта (горелка с пылесборенным вакуумом NO _x) | | Поддержание концентрации NO _x ниже ПДК _с при наличии вытяжного зонта (стандартная горелка) | |
|-----------------------------|---|--|--|---|--|--|--|--|--|
| | | Необходимая кратность воздухообмена, 1/ч | Необходимое количество вентилируемого воздуха, м ³ /ч | Необходимая кратность воздухообмена, 1/ч | Необходимое количество вентилируемого воздуха, м ³ /ч | Необходимая кратность воздухообмена, 1/ч | Необходимое количество вентилируемого воздуха, м ³ /ч | Необходимая кратность воздухообмена, 1/ч | Необходимое количество вентилируемого воздуха, м ³ /ч |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 15 | 0,7 | 18,5 | 278 | 3,7 | 55 | 20,8 | 312 | 13,0 | 194 |
| 15 | 1,9 | 50,4 | 755 | 10,0 | 149 | 135,8 | 2038 | 79,8 | 1157 |
| 15 | 2,8 | 74,2 | 113 | 14,7 | 220 | 227,2 | 3409 | 130,1 | 227 |
| 15 | 7,3 | 360,3 | 5404 | 38,3 | 574 | 520,0 | 7800 | 302,9 | 4543 |
| 20 | 0,7 | 13,9 | 278 | 2,8 | 55 | 15,6 | 312 | 9,7 | 194 |
| 20 | 1,9 | 37,8 | 755 | 7,5 | 149 | 101,9 | 2038 | 59,9 | 1157 |
| 20 | 2,8 | 55,7 | 113 | 11,0 | 220 | 170,4 | 3409 | 97,5 | 170 |
| 20 | 7,3 | 270,2 | 5404 | 28,7 | 574 | 3900 | 7800 | 227,1 | 4543 |
| | | | | | | | | 39,0 | 780 |
| | | | | | | | | 22,7 | 454 |

ВЫВОДЫ

1. Для создания санитарно-гигиенических условий в кухнях, в которых установлены газовые приборы без организованного отвода продуктов сгорания, следует:
 - применять газовые плиты с горелками с пониженным выходом вредных веществ;
 - устанавливать кухонные вытяжки, которые будут выполнять роль местной вентиляции (при новом строительстве).
2. В вытяжках с рециркуляцией следует предусматривать нейтрализатор окислов азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков, Г. А. Экология микроклимата газифицированных помещений [Текст] / Г. А. Быков, Н. М. Мхитарян // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 2. – С. 42–48.
2. СП 54.13330.2011. Свод правил. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 [Текст]. – Введ. 2011-05-20 / АО «ЦНИИЭП жилища». – М. : Минрегион России, 2011. – 35 с.
3. ДБН В.2.2-15-2005. Державні будівельні норми. Житлові будинки. Основні положення [Текст]. – Чинні від 2006-01-01. – К. : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2006. – 36 с.
4. Шуркин, Е. Н. Вредные выбросы при работе горелок бытовых газовых плит [Текст] / Е. Н. Шуркин, К. Ф. Ридер, П. А. Жбанков // Реф. науч.-техн. сб. ВНИИЭгазпром. Сер. Использование газа в народном хозяйстве. – 1977. – № 12. – С. 12–19.
5. Шуркин, Е. Н. Горелка бытовой газовой плиты с пониженными вредными выбросами [Текст] / Е. Н. Шуркин, К. Ф. Ридер, П. А. Жбанков // Газовая промышленность. – 1978. – № 4. – С. 40–43.
6. Пелипенко, В. Н. Эмиссия оксидов азота и углерода газовой плитой [Текст] / В. Н. Пелипенко // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 531–535.
7. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие [Текст] / Е. Н. Львовский. – М. : Высш. школа, 1982. – 224 с.
8. Сладков, С. П. Использование природного газа в городском и сельском строительстве [Текст] / С. П. Сладков. – М. : Стройиздат, 1973. – 192 с.
9. СТО НП «АВОК» 2.1-2008 Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена [Текст]. – Введ. 2011-05-20 / [Е. О. Шилькот, М. М. Бродач, Л. А. Гулабянц, В. И. Ливчак и др.] – М. : ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2008. – 30 с.
10. Goodfellow, Howard D. Industrial Ventilation Design Guidebook [Текст] / Howard D. Goodfellow, Esko Tahti. – San Diego, CA : Academic Press, 2001. – 1519 р.
11. Захаров, А. В. Вентиляция помещений, в которых установлены газовые плиты [Текст] / А. В. Захаров, В. И. Захаров, А. Я. Орлова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2008. – Вип. 2(70) Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 24–30.

Получено 09.10.2018

В. И. ЗАХАРОВ, Ю. О. ГОЛОВАЧ, О. И. ЗНАХАРЯНЦ
СТАН ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРИМІЩЕННЯХ, В ЯКИХ
ВСТАНОВЛЕНІ ГАЗОВІ ПЛИТИ, І КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ,
НЕОБХІДНІ ДЛЯ ПРИВЕДЕННЯ ЙОГО ДО НОРМАТИВНИХ ВИМОГ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Виконано аналіз стану повітряного середовища в кухнях при роботі газових плит, що працюють на природному газі, в продуктах згоряння якого містяться оксид вуглецю і оксиди азоту, розраховані необхідна кратність повітрообміну і кількість вентильованого повітря при використанні плит з пальниками, що випускаються серійно, і пальниками з додатковими каналами, що підводять повітря під кутом нахилу 20°.

Ключові слова: газові плити, оксид вуглецю, оксиди азоту, пальник, кратність повітрообміну.

VICTOR ZAKHAROV, YULIA GOLOVACH, OLEKSANDR ZNAKHARIANTS
CONDITION OF THE AIR ENVIRONMENT IN PREMISES IN WHICH GAS
COOKERS ARE PLACED, AND THE VENTILATION RATES, WHICH ARE
NECESSARY TO BRING IT TO REGULATORY REQUIREMENTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. It has been carried out the analysis of condition of the air environment in the kitchens during the operation of gas cookers, working on natural gas, the product of combustion of which contain carbon monoxide and nitrogen oxides, necessary ventilation rate and the volume of ventilated air using cookers with commercially available burners and burners with additional air supply ducts at an angle of 20 degrees are calculated.

Key words: gas cooker, carbon monoxide, nitrogen oxides, burner, ventilation rate.

Захаров Виктор Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

Головач Юлия Александровна – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность распределительных сетей газоснабжения.

Знахарянц Александр Игоревич – магистрант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: рациональное использование природного газа.

Захаров Віктор Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розподіл природного газу в умовах дефіциту газу; оперативне керування системами газопостачання; раціональне використання газоподібного палива.

Головач Юлія Олександрівна – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність розподільних систем газопостачання.

Знахарянц Олександр Ігорович – магістрант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: раціональне використання природного газу.

Zakharov Victor – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: distribution of natural gas in conditions of gas deficiency, on-line control of gas supply systems, rational use of gas fuel.

Golovach Yulia – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: natural gas network reliability.

Znakhariants Oleksandr – Master's student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: rational use of natural gas.

УДК 621.182

В. И. ЗЯТИНА, О. С. КОВАЛЬЧИК, А. А. ТУДОР, П. В. РЫБАЛКО
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ВОДОПОДГОТОВКА ДЛЯ ОТОПИТЕЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
КОТЕЛЬНЫХ**

Аннотация. Рассмотрены характеристики воды, используемой в качестве теплоносителя в котельных установках, с последующей химводоподготовкой. Выполнен анализ состава и качества воды из централизованного водоснабжения до и после соответствующей обработки.

Ключевые слова: химводоподготовка, централизованное водоснабжение, котельные установки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В теплоэнергетической промышленности важным технологическим этапом является химводоподготовка теплоносителя. Наличие минеральных примесей усложняет и делает невозможным процесс теплообмена за счет образования на поверхностях теплообменников и котлов накипи. Кроме котлов, отложениям подвержены пароперегреватели и турбины, что в целом усложняет работу системы. Главными задачами в коммунальном хозяйстве и теплоснабжении являются экономия энергоресурсов и обеспечение безаварийной и надежной работы котельного оборудования, что напрямую связано с качеством воды на входе в котел.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Присутствие в природной воде естественных минеральных примесей и солей приводят к образованию накипи и коррозии. Основанием для данной работы послужил анализ существующих методов и выбор систем водоподготовки в ЖКХ, в муниципальных поселках, проведенный в 2009 году [1], в ходе которого были обследованы маломощные котельные отопления и горячего водоснабжения на предмет выявления типовых проблем коммунального водо- и теплоснабжения. Также проанализирована вода на входе в котел на всех стадиях технологического процесса. Полученные данные позволяют говорить о том, что в настоящее время на большинстве исследованных котельных практически отсутствуют функционирующие системы обработки воды при подаче ее на котельное оборудование.

Даже при наличии систем водоподготовки технический контроль за их состоянием не проводится. Поэтому при полном отсутствии достоверного аналитического контроля большинство котельных не способны эффективно выполнять свою функцию. В итоге выявлено, что сроки службы котельного и сетевого оборудования Брейтовской центральной котельной существенно меньше нормативных сроков в среднем в 2–3 раза [1].

Основные проблемные вопросы водоподготовки котельных установок:

- высокая степень износа котельного и сетевого оборудования, постоянная необходимость ремонта котлов и сетей;
- низкое показатели качества воды, высокие утечки в магистралях;
- отсутствие должного технологического и административного контроля за показателями и режимами работы оборудования;
- низкие технико-экономические показатели работы котельных вследствие высоких непроизводственных затрат на эксплуатацию оборудования и сетей.

Еще одной немаловажной проблемой работы котельных установок являются промывные воды фильтров химводоподготовки, содержащие огромное количество примесей в концентрированном виде.

При наличии накипи толщиной в 1 мм котел перерасходует в среднем от 2 до 3 % топлива, так как теплопроводность накипи в 200 раз ниже теплопроводности конструкционной стали. Отложения накипи в 1 мм поглощают до 10 % тепловой энергии, а если на стенках котла или бойлера наросло 13 мм, то теряется уже 70 % тепла, (рис. 1) [1]. По данным английской фирмы A&S Researchinc. 3 мм накипи поглощают 25% тепловой энергии, 7 мм – 39 % (рис. 1) [1].

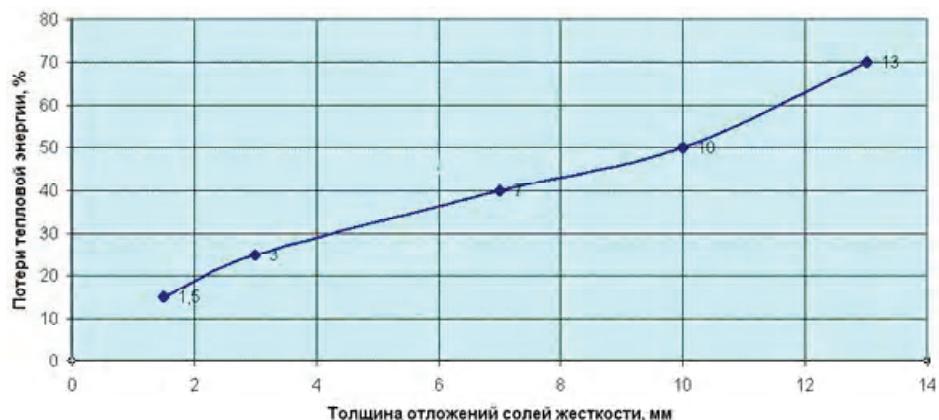


Рисунок 1 – Зависимость потерь тепловой энергии через греющую поверхность от толщины слоя отложений солей жесткости.

Накипь приводит к значительному перерасходу энергоносителей, снижению КПД, перегреву поверхности нагрева котлов, сужению просвета труб и каналов, что создает дополнительное сопротивление движению воды, увеличению затрат на обслуживание и ремонт теплообменного оборудования. Кроме того, под слоем накипи происходит накопление примесей, вызывающих ускоренную коррозию металла [1].

Таким образом, совершенно четко видны проблемы и трудности химводоподготовки на котельных установках, а также утилизации промывных вод от технологического процесса очистки воды.

ЦЕЛЬ

Повышение срока службы котельного оборудования и сетей горячего тепло- и водоснабжения. Устранение проблем с нейтрализацией агрессивных стоков, сбрасываемых в канализацию.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Существуют нормативные требования к качеству подпиточной воды систем теплоснабжения табл. 4 [12]. Согласно п. 8 [11] «Водно-химический режим работы котельной должен обеспечивать работу котлов, тепловых сетей, теплообменного оборудования без коррозионных повреждений, отложений накипи и шлама внутри и снаружи оборудования, а также воды требуемого качества».

Подбор и метод химводоподготовки начинается с анализа качества исходной воды. На основании требований к очистке воды и производительности котла выбирается способ умягчения воды.

Наиболее часто применяемая система водоподготовки котлов включает: механическую очистку воды, системы декарбонизации и деаэрации воды. Для удаления солей жесткости используются натрий-катионитовые фильтры, так как они обладают высокой обменной емкостью.

Наиболее распространенными являются умягчение на натрий-катионитовых фильтрах; известкование; снижение общего солесодержания на установках обратного осмоса; обработка на Н- и ОН-ионообменных фильтрах. В зависимости от системы теплоснабжения, назначения воды и мощности котла вода на входе в котел должна соответствовать требуемым нормам качества воды табл. 9 [11]. Для теплосетей и котлов низкого давления применяется умягчение воды через натрий-катионитовые фильтры, а для котлов высокого давления уже деминерализация и деаэрация воды. Также обязательной процедурой является обеззараживание воды. Наибольшее распространение получили

озонирование, ультрафиолетовое облучение и хлорирование. В настоящее время очистка воды с помощью озона один из самых эффективных и безопасных методов очистки. При применении комплексных систем химводоподготовки снижается риск проблем: уменьшается периодичность капитальных ремонтов и проходят они с меньшими затратами; уменьшается перерасход электро- и тепловой энергии и газа; повышается качество теплоснабжения.

Для понимания режима работы котельных установок нами был проведен мониторинг основных параметров работы котельной в период с 01.09.18 по 30.09.18 гг. Исследовался температурный режим работы котельной совместно с журналом температурного графика работы, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Температурный график работы котельной

| Дата | Температура наружного воздуха, в °C | Температура прямой воды, в °C | Температура обратной воды, в °C | Температура смещения, °C |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 01.01.18 | +10 | 49 | 33 | 38 |
| 02.01.18 | +9 | 52 | 34 | 40 |
| 03.01.18 | +8 | 56 | 36 | 42 |
| 04.01.18 | +7 | 60 | 38 | 44 |
| 05.01.18 | +6 | 63 | 39 | 46 |
| 06.01.18 | +5 | 66 | 40 | 48 |
| 07.01.18 | +4 | 69 | 41 | 50 |
| 08.01.18 | +3 | 72 | 42 | 52 |
| 09.01.18 | +2 | 76 | 43 | 54 |
| 10.01.18 | +1 | 80 | 44 | 56 |
| 11.01.18 | +0 | 83 | 46 | 60 |
| 12.01.18 | -1 | 85 | 47 | 61 |
| 13.01.18 | -2 | 88 | 48 | 62 |
| 14.01.18 | -3 | 92 | 50 | 63 |
| 15.01.18 | -4 | 95 | 51 | 65 |
| 16.01.18 | -5 | 98 | 52 | 67 |
| 17.01.18 | -6 | 101 | 53 | 69 |
| 18.01.18 | -7 | 102 | 54 | 71 |
| 19.01.18 | -8 | 108 | 56 | 72 |
| 20.01.18 | -9 | 111 | 57 | 73 |
| 21.01.18 | -10 | 114 | 58 | 75 |
| 22.01.18 | -11 | 117 | 59 | 77 |
| 23.01.18 | -12 | 120 | 60 | 79 |
| 24.01.18 | -13 | 123 | 61 | 80 |
| 25.01.18 | -14 | 126 | 62 | 82 |
| 26.01.18 | -15 | 129 | 63 | 84 |
| 27.01.18 | -16 | 132 | 64 | 86 |
| 28.01.18 | -17 | 135 | 65 | 88 |
| 29.01.18 | -18 | 138 | 66 | 90 |
| 30.01.18 | -19 | 141 | 67 | 91 |

Таблица 1 характеризует нагрузку на котельное оборудование в зависимости от температуры наружного воздуха, что соответственно меняет условия работы теплоносителя и узла химводоподготовки. Тем самым можно спрогнозировать количество регенераций ионообменных фильтров и количество промывных вод.

Химводоподготовка воды на стадии предварительной очистки удаляет из жидкости превышения по органолептическим показателям – мутность, цветность и запах. Далее, в зависимости от показателей качества исходной воды могут использоваться аэрационные колонны или иные фильтры-обезжелезиватели. Завершает цикл очистки, как правило, умягчающая установка с фильтром тонкой очистки для предотвращения проскара фильтрующей загрузки (рис. 2) [8].

Данная схема может дополнительно оснащаться устройствами озонирования для обеззараживания и поддержания надлежащего санитарного состояния сетей и оборудования. Метод предназначен для воды с высоким содержанием солей жесткости и солей железа (рис. 2).



Рисунок 2 – Метод очистки и умягчения воды: 1 – насосная станция; 2 – фильтр-грязевик; 3 – аэрационная колонна; 4 – безреагентный обезжелезиватель; 5 – сорбционный фильтр; 6 – умягчитель; 7 – бак-солерасторовитель; 8 – фильтр тонкой очистки.

Данная установка химводоподготовки разработана В. А. Присяжнюком (рис. 3) специально для Кременчугской ТЭС. Технология очистки состоит в том, что поступающая вода без предварительной дегазации проходит магнито-гидродинамический резонатор, в реактор подается определенное количество осадительного реагента. Далее заключительный этап механической очистки – песчаный фильтр. После чего происходит полное умягчение жидкости на ионообменных фильтрах. В конце очистки поступает вода в сборник умягченной, так называемой осветленной воды [8].

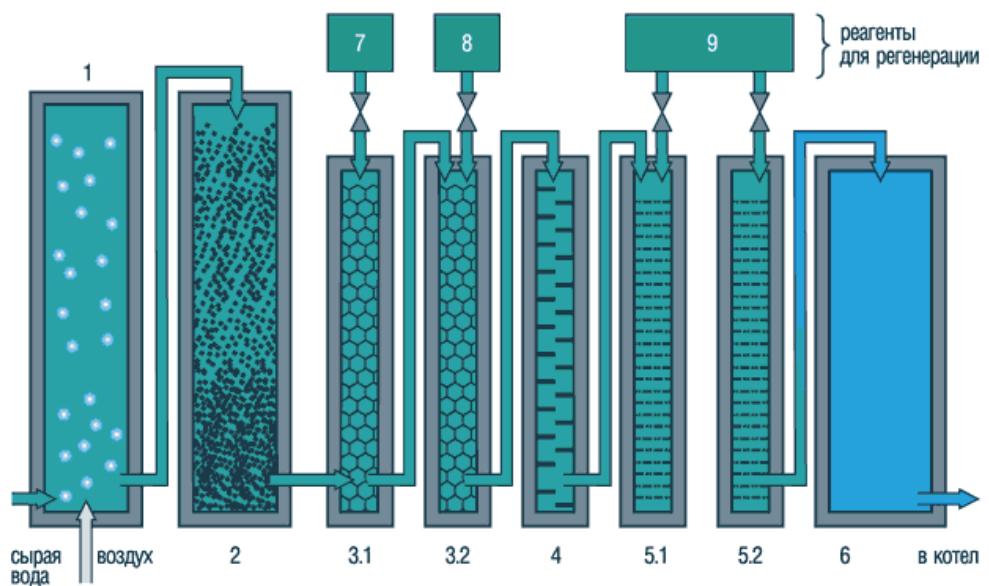


Рисунок 3 – Метод глубокого умягчения (деминерализация воды): 1 – аэратор; 2 – песчаный фильтр; 3 (3.1, 3.2) – катионообменные фильтры; 4 – декарбонизатор; 5 (5.1, 5.2) – анионообменные фильтры; 6 – сборник деминерализованной воды; 7 – раствор хлорида натрия на регенерацию катионита; 8 – раствор кислоты на регенерацию катионита; 9 – раствор щелочи на регенерацию анионита.

Классификация природной воды по степени жесткости приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Качественная классификация воды по степени жесткости

| Характеристика воды | Концентрация Ca^{2+} и Mg^{2+} , мг-экв/л | Жесткость воды, выраженная в ppm CaCO_3 | Немецкие градусы жесткости, dH (реже dGH) |
|------------------------|---|--|---|
| Очень мягкая вода | 0–1,4 | 0–70 | 0–4 |
| Мягкая вода | 1,8–2,8 | 88–140 | 5–8 |
| Вода средней жесткости | 3,2–4,2 | 158–210 | 9–12 |
| Довольно жесткая вода | 4,6–6,3 | 228–315 | 13–18 |
| Жесткая вода | 6,6–10,5 | 332–525 | 19–30 |
| Очень жесткая вода | свыше 10,5 | более 525 | более 30 |

Проведен сравнительный анализ качества питьевой воды, подаваемой потребителям, в том числе испытуемой котельной, от КП «Компания "Вода Донбасса"» Верхнекальмиусской фильтровальной станции (г. Донецк, г. Ясиноватая), за сентябрь, 2018 г. (табл. 3).

Таблица 3 – Качество воды потребляемой котельной до химводоподготовки

| № п/п | Наименование показателя | Единица измерения | Периодичность контроля | Нормативы ГосСанПин 2.2.4-171-10, не более [13] |
|-------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|---|
| 1 | Мутность | мг/дм ³ | ежедневно | 0,58 (2,0*) |
| 2 | Цветность | град | ежедневно | 20 (35*) |
| 3 | Водородный показатель | ед. pH | ежедневно | 6,5–8,5 |
| 4 | Жесткость общая | ммоль/дм ³ | ежедневно | 7,0 (10,0*) |
| 5 | Сухой остаток | мг/дм ³ | 1 раз в 2 недели | 1000 (1500*) |
| 6 | Железо общее | мг/дм ³ | еженедельно | 0,2 (1,0*) |
| 7 | Сульфаты | мг/дм ³ | 1 раз в 2 недели | 250 (500*) |
| 8 | Хлориды | мг/дм ³ | еженедельно | 250 (350*) |
| 9 | Нитраты | мг/дм ³ | еженедельно | 50 |
| 10 | Алюминий | мг/дм ³ | ежедневно | 0,5 |
| 11 | Марганец | мг/дм ³ | ежемесячно | 0,05 (0,5*) |
| 12 | Медь | мг/дм ³ | ежемесячно | 1 |
| 13 | Окисляемость перманганатная | мгО/дм ³ | ежедневно | 5,0 |

Перечень анализируемых показателей и их периодичность выполняются по согласованию с органом санитарно-эпидемиологической службы.

* – допустимые значения, по согласованию с органами сан-эпидемиологической службы и ПДК согласно ТУ У 41.0-00191678-001(002):200.

Качество подпиточной и исходной воды водогрейных котлов и водоподготовки после обработки на исследуемой котельной станции приведено в таблице 4. Согласно данным, полученным от исследований, установлено, что качество подаваемой воды на котельные установки соответствует нормам хозяйствственно-питьевого водоснабжения, но при использовании в системах циркуляционного водоснабжения есть риск концентрирования ионов кальция и магния, что приводит к повышенному налипкообразованию на поверхности котельных агрегатов.

Соответственно, для надлежащего функционирования котельного оборудования требуется качественная подготовка исходной и подпиточной воды, что приводит к образованию избыточного количества концентрированных промывных вод. Для решения проблем с нейтрализацией загрязненных стоков, сбрасываемых в канализацию одним из путей может выступать устройство безреагентных систем химводоподготовки, среди которых большое распространение получила магнитная обработка воды [9–10] известна с 1936 г. Этот метод предотвращения отложений накипи на теплообменных поверхностях без нагрева не умягчает воду, не снижается ее карбонатную и общую жесткость. Механизм предотвращения накипеобразования на теплообменных поверхностях с помощью магнитной обработки, сводится к изменению водной структуры. В результате карбонат кальция, который обычно кристаллизуется, начинает кристаллизоваться в арагонит, который не откладывается на теплообменных поверхностях. Более того, если отложения кальция промывать уже магнитной водой, он

Таблица 4 – Результаты химического анализа после химводоподготовки

| № п/п | Показатели | Единицы измерения | ГосСанПин 2.2.4-171-10, (не более) [13] | СанПиН 2.1.4.559 [14] | Результаты анализируемой воды |
|----------|--------------------------------|----------------------|---|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Цветность | градус | 20–35 | 20 | 13 |
| 2 | Мутность | мг/дм ³ | 1,5–2,0 | 2,6 | < 0,58 |
| 3 | pH | Ед. pH | 6–9 | 6,5–9,5 | 6,7 |
| 4 | Нитраты | мг/дм ³ | 45,0 | 50,0 | 1,38 |
| 5 | Хлориды | мг/дм ³ | 350,0 | 250,0 | 15,0 |
| 6 | Сульфаты | мг/дм ³ | 500,0 | 250,0 | 70,3 |
| 7 | Жесткость общая | мг·экв/л | 7,0 | 1,0 | 2,6 |
| 8 | Кальций | мг/дм ³ | 130,0 | 30–140 | 34,1 |
| 9 | Магний | мг/дм ³ | 65,0 | 20–85 | 10,9 |
| 10 | Перманганатная окисляемость | мг/дм ³ | 5,0–7,0 | 5,0 | 4,4 |
| 11 | Железо общее | мг/дм ³ | 0,3–1,0 | 0,2 | < 0,1 |
| 12 | Медь | мг/дм ³ | 1,0 | 2,0 | < 0,002 |
| 13 | Марганец | мг/дм ³ | 0,1 | 0,05 | < 0,01 |
| 14 | Сухой остаток | мг/дм ³ | 1 000,0 | 1000,0 | 225,0 |
| 15 | Алюминий | мг/дм ³ | 0,5 | 0,2 | 0,19 |

переходит в арагонит, отложения разрыхляются, отслаиваются от поверхности и уносятся потоком воды [8].

На сегодняшний день чаще всего применяются классические, реагентные способы подготовки воды, которые требуют регенерации концентрированными растворами. После чего образуют избыточное количество шламовых вод, утилизировать которые простым сбросом в канализационную сеть не представляется возможным.

ВЫВОДЫ

Отопительные котельные должны проводить технологический и административной контроль за показателями качества воды, режимами работы всего оборудования и сетей. Системы химводоподготовки нуждаются в модернизации и внедрении современных подходов к обработке исходной и подпиточной воды. Мало изучен вопрос нейтрализации либо безопасной утилизации промывочных вод от установок умягчения, одним из таких способов является применение выпарных станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов, Е. А. Методы подготовки питательной воды котлов и современное оборудование для коммунального тепла и водоснабжения [Текст] : учеб. пособие / Е. А. Михайлов, Ю. С. Кашенков, А. Г. Маланов. – Ярославль : Издательство ЯГТУ, 2009. – 156 с.
2. Котенко, А. Э. Опыт эксплуатации обратноосмотических систем химводоподготовки [Электронный ресурс] / А. Котенко, Э. Видхальм // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2007. – № 8. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/articles/iz-opryta-ekspluatacii-obratnoosmoticheskikh-sistem-himvodopodgotovki-v-avstrii>.
3. СНиП II-35-76 Котельные установки [Текст] : Глава 10. Водоподготовка и водно-химический режим. – Взамен СНиП II-Г.9.65, СН 350-66. – Введ. 1978-01-01. – М. : Госстрой СССР, 1997. – 54 с.
4. Иванова, Е. С. Производственно-отопительная котельная [Текст] : метод. указания / Е. С. Иванова, Л. В. Артёева. – Ухта : УГТУ. – 42 с.
5. Вихрев, В. Ф. Водоподготовка [Текст] : учеб. для вузов / В. Ф. Вихрев, М. С. Шкраб. – Л. : Энергия, 1966. – 420 с.
6. Громогласов, А. А. Водоподготовка: процессы и аппараты [Текст] : учебное пособие для ВУЗов / А. А. Громогласов, А. С. Копылов, А. П. Пильщикова. – Под ред. О. И. Мартыновой. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
7. Присяжнюк, В. Л. Жесткость воды: способы умягчения и технологические схемы [Электронный ресурс] / В. Л. Присяжнюк // С.О.К. – 2004. – № 10. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/articles/zhestkost-vody-sposoby-umyagcheniya-i-tehnologicheskie-shemy-1>.
8. Присяжнюк, В. Л. Жесткость воды: способы умягчения и технологические схемы [Электронный ресурс] / В. Л. Присяжнюк // С.О.К. – 2004. – № 11. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/articles/zhestkost-vody-sposoby-umyagcheniya-i-tehnologicheskie-shemy>.
9. Присяжнюк, В. А. Физико-химические основы предотвращения кристаллизации солей на теплообменных поверхностях [Текст] / В. А. Присяжнюк // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2003. – № 10. – С. 26–30.

10. Присяжнюк, В. А. Водоподготовка и очистка воды: принципы, технологические приемы, опыт эксплуатации [Электронный ресурс] / В. А. Присяжнюк // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2004. – № 4. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/articles/vodopodgotovka-i-ochistka-vody-principy-tehnologicheskie-priemy-o-purt-ekspluatacii>.
11. ДНАОП 0.00-1.08-94 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов [Текст]. – Введ. 1994-05-26 / Госкомитет Украины по надзору за охраной труда. – К. : [б. и.], 1994. – 184 с.
12. СНиП II -Г.10-73* (11-36-73*) Тепловые сети. Нормы проектирования [Текст]. – Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 52 с.
13. ГСанПиН 2.2.4-171-10 Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком [Электронный ресурс]. – [Б. м. : Aquaram]. – [2015]. – Режим доступа : <http://aquaram.com.ua/gigienicheskie-trebovaniya-k-vode-pityeyoy/>.
14. МУ 2.1.4.682-97 Методические указания по внедрению и применению Санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества [Текст]. – Введ. 1998-01-01 / [НИИ МТ РАМН, НИИ ЭЧ и ГОС им. А. Н. Сысина РАМН, МосводоканалНИИпроект, МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, Департамент госсанэпиднадзора МЗ РФ, РМАПО]. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1998. – 71 с.

Получено 03.09.2018

В. І. ЗЯТИНА, О. С. КОВАЛЬЧІК, А. А. ТУДОР, П. В. РИБАЛКО
ВОДОПІДГОТОВКА ДЛЯ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВИРОБНИЧИХ КОТЕЛЕНЬ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Розглянуто характеристики води, що використовується як теплоносій в котельних установках, з подальшою хімводопідготовкою. Виконано аналіз складу та якості води з централізованого водопостачання до та після відповідного оброблення.

Ключові слова: хімводопідготовка, централізоване водопостачання, котельні установки.

VITALII ZIATINA, OLGA KOVALCHIK, ANNA TYDOR, PETER RIBALKO
WATER TREATMENT FOR HEATING AND INDUSTRIAL BOILER ROOMS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The characteristics of water, used as a coolant in boiler plants, followed by chemical water treatment have been considered. It has been carried out the analysis of the composition and quality of water from the centralized water supply and after appropriate treatment.

Key words: chemical water treatment, centralized water supply, boiler plants.

Зятина Виталий Ильич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка новых и усовершенствование технологий оборотного водоснабжения автотранспортных предприятий, городских сточных вод и обработки осадков.

Ковальчик Ольга Сергеевна – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: химводоподготовка и водоснабжение в отопительно-производственных котельных.

Тудор Анна Анатольевна – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование методов очистки природных вод.

Рыболов Петр Васильевич – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: интенсификация методов очистки сточных вод.

Зятина Віталій Ілліч – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка нових і вдосконалення технологій оборотного водопостачання автотранспортних підприємств, міських стічних вод та оброблення осадів.

Ковальчик Ольга Сергіївна – магістрант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: хімводопідготовки і водопостачання в опалювально-виробничих котельних.

Тудор Анна Анатоліївна – магістрант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вдосконалення методів очищення природних вод.

Рибалко Петро Васильович – магістрант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: інтенсифікація методів очищення стічних вод.

Ziatina Vitalii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the development of new and improvement of technologies for recycling water supply of road transport enterprises, urban wastewater and sludge treatment.

Kovalchik Olga – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: water treatment and water supply in heating and production boiler houses.

Tydor Anna – Master student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of natural water treatment methods.

Ribalko Peter – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: intensification of wastewater treatment methods.

УДК 628.87

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

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧЕЙ
ЗОНЫ ПОМЕЩЕНИЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Аннотация. В данной статье рассмотрено влияние процессов переохлаждения и перегрева человека с учетом его теплоощущений, средневзвешенной температуры кожи и влагопотерь организма в помещениях при относительном покое, а также при выполнении легкой работы.

Ключевые слова: микроклимат, температура, теплоощущения, теплоотдача, конвекция, излучение

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

По мере развития цивилизации человек освоил технологию обогрева помещений. И в этом случае он опирался на свои субъективные тепловые ощущения. Роль теплоощущения в регуляции теплообмена организма со средой сводится в основном к изменениям поведения и включает выбор одежды, изменение площади свободного теплообмена со средой и т. п. Под действием тепла и холода у человека изменяются кровоснабжение кожи и подкожной клетчатки, их температура, а также температура венозной крови, что является главной причиной появления ощущений теплового дискомфорта. Тепловой комфорт означает термически нейтральное состояние, при котором механизмы терморегуляции не испытывают напряжения. В термонейтральной среде имеет место равенство теплоотдачи и минимальной теплопродукции, достигаемое за счет физической терморегуляции. Знание физиологической нормы, т. е. теплового состояния в условиях теплового комфорта, необходимо для обеспечения требуемого микроклимата [1].

На раннем этапе изучения параметров комфортности [2] усилия исследователей были направлены на поиски показателя, который бы определялся параметрами микроклимата и наилучшим образом коррелировал с тепловыми ощущениями. Например, в качестве такого параметра до сих пор рассматривается так называемая эффективная температура, полученная на основе статистической обработки. Опытным путем было показано, что комфортные теплоощущения наблюдаются при эффективной температуре 17...21 °C зимой и 19...24 °C летом, при этом относительная влажность воздуха должна лежать в пределах 30...70 %. Эти экспериментальные данные были использованы при разработке строительных и санитарных норм.

Путем обобщения многочисленных исследований по отечественной и зарубежной литературе, а также на основе практики собственных исследований В. И. Кричагин [3] предложил оценку теплового состояния организма по объективно определяемым показателям. Наиболее тесная корреляционная связь теплоощущений с объективными показателями теплового состояния человека имеет место в случае пребывания его в относительном покое и при выполнении легких физических работ. Во время выполнения тяжелых работ, а также работ с выраженным нервно-эмоциональным напряжением связь теплоощущений с объективными показателями теплового состояния человека выражена в меньшей степени, что необходимо учитывать при нормировании и оценке микроклимата.

Экспериментально установлено, что при нормальных условиях внешней среды температура тела человека колеблется в пределах 37,1...37,3 °C [4]. Тепло, вырабатываемое в организме в условиях равновесия, отдается в окружающую среду поверхностью тела, а также идет на испарение влаги с поверхности кожи и дыхательных путей. Температура кожи человека, находящегося даже в состоянии теплового комфорта, значительно различается на разных участках поверхности тела. Экспериментально

установлено, что наилучшим образом представление о тепловом состоянии организма дает так называемая средневзвешенная температура кожи (СВТК).

В табл. 1 приведены значения потерь влаги человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя. Из этой таблицы видно, что, начиная с некоторой температуры воздуха, теплоощущения человека (тепло, жарко и очень жарко) коррелируют, главным образом, с уровнем потери влаги путем потоотделения [1].

Таблица 1 – Теплоощущения, средневзвешенная температура кожи и влагопотери организма человека при относительном покое

| Теплоощущения | СВТК, °С | Потери влаги, г/ч |
|---------------|-----------|--|
| Очень жарко | ≥ 36,0 | 500–2000 значительная часть пота стекает |
| Жарко | 36,0±0,6 | 250–500 значительная часть пота стекает |
| Тепло | 34,9±0,7 | 60–250 пот не стекает |
| Комфорт | 33,2±1,0 | 50±10 пот не выделяется |
| Прохладно | 31,1±1,0 | 40 пот не выделяется |
| Холодно | 29,1 ±1,0 | |
| Очень холодно | ниже 28,1 | влагопотери как показатель теплоощущений не характерны |

Вода, содержащаяся в теле, испаряется при любой температуре воздуха. Процесс испарения требует затраты энергии. Организм расходует определенную долю тепла на испарение водяных паров и благодаря этому охлаждается. Этот процесс всегда протекает совершенно одинаково. Известно, что при испарении 1 см³ воды затрачивается около 2,43 кДж тепла. В условиях теплового комфорта и охлаждения человек, находящийся в состоянии относительного физического покоя, теряет влагу путем диффузии с поверхности кожи и верхних дыхательных путей. По приведенным в рассматриваемых работах [2, 3] данным путем испарения в окружающую среду отдается 23...27 % общего тепла. При этом в нормальном случае 1/3 потерь приходится на испарение с поверхности верхних дыхательных путей и 2/3 с поверхности кожи.

На влагопотери путем диффузии оказывает влияние давление водяных паров в воздухе, окружающем человека. Поскольку в земных условиях изменения давления водяных паров невелики, величину влагопотерь вследствие испарения диффузной влаги принято считать относительно постоянной 30...50 г/ч. В состоянии покоя потоотделение начинается при температуре окружающего воздуха 28...29 °С, а при температуре воздуха рабочей зоны выше 34 °С теплоотдача вследствие испарения и потоотделения является единственным способом теплоотдачи организма [1].

В среднем у человека величина потоотделения редко превышает 1 500 г/ч. При оценке теплового состояния организма представляет интерес не только абсолютная величина потери влаги организмом, но и доля теплоотдачи испарением в общей величине теплопотерь. При теплоотдаче испарением, достигающей 40 % общих теплопотерь, уже отмечается напряжение механизмов терморегуляции, субъективно оцениваемых как «тепло». Высокая охлаждающая способность испарения пота сохраняется до момента профузного потоотделения, когда избыток пота начинает стекать с поверхности тела, не испаряясь и не удаляя из организма соответствующего тепла [5]. Однако при диффузном потоотделении человек может терять от 6 до 18 % хлоридов, содержащихся в организме, что приводит к ряду нарушений в результате резкого сдвига электролитного баланса [4].

ЦЕЛЬ

Целью данной статьи является оценка воздействия на организм человека изменения параметров микроклимата при возможном отклонении за пределы комфортных значений для человека, выполняющего определенный род деятельности.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Определим параметры микроклимата, при которых наблюдается отклонение основных параметров (температура помещения, подвижность и относительная влажность воздуха) как охлаждающий микроклимат, т. е. такие условия, в которых большинству людей будет прохладно, холодно или очень холодно. В таком случае воздействию охлаждающего климата в зимний и переходный периоды года подвергаются люди, работающие как на открытом воздухе, так и в производственных помещениях,

например в хладокомбинатах. Среди климатических факторов он оказывает наиболее неблагоприятное воздействие, выражющееся как в различной степени неприятных общих и локальных ощущениях, так и в возникновении предпатологических и патологических состояний.

Для поддержания температуры тела человека на необходимом уровне в охлаждающих условиях реакции системы терморегуляции должны быть направлены на уменьшение теплоотдачи. Суть терморегуляции заключается в использовании теплоизоляционной одежды, которая частично изолирует поверхность тела человека от непосредственного контакта с окружающей средой, а также в создании оптимального микроклимата в помещениях.

Динамика теплоотдачи с поверхности тела в окружающую среду по мере охлаждения тела в целом у испытуемых характеризуется тем, что в первые минуты она подчиняется физическим законам и возрастает линейно с увеличением температурного напора между кожей человека и воздухом помещения. Характерные сдвиги изменения линии тренда температуры и теплоотдачи обнаруживаются при охлаждении конечностей [1]. В табл. 2 приведены значения средневзвешенной температуры кожи у человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя и подвергающегося воздействию холода.

Таблица 2 – Градация теплового состояния организма человека, выполняющего легкую работу в условиях охлаждения

| Характеристика теплового состояния | Потери влаги, г/ч | СВТК, °С | Разница между температурой туловища и конечности, °С |
|---|-------------------|----------|--|
| Комфортное | 100..150 | 31..33 | 6..2 |
| Слабое напряжение терморегуляции | 100 | 31..29 | до 8 |
| Умеренное нестационарное напряжение терморегуляции | 100 | 29..27 | до 10 |
| Большое и чрезмерное напряжение терморегуляторной системы | 100 | 23..27 | 10 |

С другой стороны, обратная ситуация будет характеризоваться нагревающим микроклиматом. С таким видом микроклимата человек сталкивается при работе в горячих цехах различных отраслей промышленности (металлургической, стекольной, пищевой и др.), в глубоких шахтах, а также при работе на открытом воздухе в летний период. Температура воздуха в горячих цехах металлургической промышленности может достигать в летний период 33..40 °С; а инфракрасное излучение при этом будет находиться в диапазоне 8,4..50,2 Дж/см² в минуту. В зависимости от характера поступления и превалирования того или иного компонента микроклимата схематически выделяют цехи с преимущественно конвекционным или с преимущественно радиационным микроклиматом. Микроклимат большинства горячих цехов многих отраслей промышленности характеризуется преобладанием лучистого тепла, которое является основным климатообразующим фактором. Интенсивность теплового (инфракрасного) излучения может достигать 2 100..4 900 Вт/м² (в кузнечнопрессовых, литейных цехах), 3 500..7 000 Вт/м² (цеха стекольных заводов), 7 000..14 000 Вт/м² (мартеновские, электросталеплавильные, доменные цехи металлургических заводов) [5]. Высокая интенсивность излучения приводит к нагреванию ограждений, оборудования, превращая их во вторичные источники излучения. Например, температура воздуха в бойлерной может равняться 48,8 °С, в отдельных рудниках Южной Африки на глубине зарегистрирована температура 41..49 °С. Рабочие при ремонте мартеновских печей подвергались воздействию окружающих температур от 50 до 170 °С.

Нагревающий микроклимат конвекционного типа (продуктовые цехи сахарных заводов, термические цехи, машинные залы электростанций, цехи бумажного производства и т. п.) характеризуется:

- высокими температурами воздуха, превышающими в теплый период года на 7..10 °С температуру наружного воздуха;
- наличием огромных нагретых поверхностей оборудования с температурой 45..55 °С;
- незначительными подвижностями воздуха.

В некоторых производствах повышенная температура сочетается с высокой влажностью воздуха. Такие условия характерны для красильных отделений текстильных фабрик, глубоких шахт, теплиц и т. п.

При воздействии на человека избыток теплоты существует определенная корреляция между ощущениями человека, находящегося в покое, и объективными показателями его теплового состояния [1]. При температуре рабочей зоны равной или выше значений СВТК для условий температурного комфорта (29...33,7 °C) тело человека больше не может отдавать излишки тепла в окружающую среду путем конвекции и радиации. Более того, оно само начинает получать тепло за счет солнечной инсоляции, радиационного излучения со стороны нагретых поверхностей, нагретого воздуха. Подобно охлаждающим влияниям, нагревающее воздействие окружающей человека среды носит комплексный характер, т.е. определяется различными метеоусловиями – температурой, влажностью, скоростью движения воздуха, величиной тепловой радиации. Если охлаждающий микроклимат, как правило, сопряжен с недостаточно грамотно организованной работой инженерных систем (или полным их отсутствием), которые можно должным образом наладить или организовать, то нагревающий, как правило, обусловлен особенностями технологического процесса, изменения в котором недопустимы. В табл. 3 приведены значения средневзвешенной температуры кожи, средней температуры тела и влагопотери у человека при перегревании.

Таблица 3 – Термическое состояние человека при перегревании

| Термоощущения | СВТК, °C | Средняя температура тела, °C | Влагопотери, г/ч |
|---------------|----------|------------------------------|------------------|
| Комфортное | 33,2±1,0 | 35,8 | 50 |
| Тепло | 34,9±0,7 | 36,6 | 60...250 |
| Жарко | 36,0±0,6 | 37,2 | 250...500 |
| Очень жарко | 36 | 37,5 | 500...2000 |

Основным путем потери тепла в условиях нагревающего климата является испарение влаги с поверхности кожи и слизистой оболочки дыхательных путей, что обуславливается относительной влажностью среды и подвижностью воздуха. Скорость движения воздуха влияет скорее на термоощущения человека, облегчая (или усугубляя) процесс теплоотдачи путем конвекции. Движение воздуха может вызывать негативную реакцию через появление эффектов, обусловленных давлением воздуха на кожу: утомление рецепторного аппарата, высыпание кожи. Поэтому при разработке нормативов на микроклимат учитывается именно этот факт. Однако известно, что одним из защитных мероприятий в цехах с нагревающим микроклиматом является обдувание прохладным воздухом, т.н. воздушное душевание. В условиях охлаждающего микроклимата движение ветра, увеличивая эффективность конвекционного способа теплоотдачи, усиливает охлаждение организма. По мере усиления потоотделения и испарения влаги с поверхности кожи, покровные ткани тела охлаждаются, и тогда теплоощущение перестает зависеть от средней температуры тела [1].

Инфракрасное излучение оказывает общее и местное воздействие на организм. Общая реакция на облучение проявляется в повышении температуры кожи не только на облучаемой поверхности, но и на отдаленных от места облучения участках. Чем мощнее излучение, тем быстрее наступает максимум температуры на облучаемом участке кожи. При одной и той же интенсивности излучения температура кожи повышается тем меньше, чем короче длина волны. При интенсивном воздействии этих лучей на непокрытую голову может произойти так называемый солнечный удар, сопровождаемый головной болью, головокружением, учащением пульса, ускорением дыхания, затемнением и потерей сознания. Такого рода поражения не угрожают людям, работающим в закрытых помещениях, даже если они подвергаются очень интенсивному инфракрасному облучению производственными источниками [1]. Чрезвычайно важной особенностью воздействия инфракрасного излучения на организм является способность этих лучей различной длины волны проникать на разную глубину и поглощаться соответствующими тканями.

Для оценки возможного воздействия инфракрасного излучения на рабочих важное значение наряду со спектральной характеристикой имеет интенсивность излучения. Она измеряется количеством малых калорий, падающих на 1 см² поверхности в минуту или больших калориях на 1 м² в час. Интенсивность теплового излучения на рабочих местах при отдельных производственных операциях колеблется от 0,1 до 62,8...75,4 Дж/см² в минуту. Следует отметить, что тепловой эффект прямого солнечного излучения на поверхности земли не превышает 5,4...6,3 Дж/см² в минуту.

Поэтому определение коэффициентов облученности внутренних поверхностей представляет серьезную задачу при условии наличия поверхности сложной формы. Наличие нескольких таких поверхностей, геометрические размеры которых постоянно меняются в связи с нестационарностью про-

цесса, значительно усложняет процесс изучения лучистого теплообмена в помещении и воздушно-теплового режима в целом. Дополнительным фактором, усложняющим исследование теплообмена внутренних поверхностей помещения за счет излучения, является учет поверхностей обстановки помещения с их сложной поверхностью. В таких условиях количество коэффициентов облученности поверхностей увеличивается в разы. Кроме того, солнечную радиацию, равномерно распределенную по всем внутренним поверхностям, можно рассматривать как излучение отдельных теплообменных поверхностей прямоугольной формы [7].

Роль одежды в нагревающем микроклимате также значительно возрастает, когда температура воздуха превышает температуру кожи тела человека. Так как теплопроводность текстильных тканей очень низка, то накопление тепла в одежде невозможно; оно должно быть возвращено окружающей среде. В работе [8] приведены результаты экспериментов, которые показали, что при ношении одежды, поглощающей столько же солнечной энергии, сколько поглощает и человеческая кожа, количество тепла, получаемое телом из окружающей среды, уменьшается более чем на 420 кДж/ч.

Отдельной оценки заслуживает организация систем климатизации с недостаточным уровнем энергосбережения. Как отмечается в отдельных исследованиях [6], основными экологическими проблемами кондиционирования воздуха связаны с:

- увеличением пиковой нагрузки на электроэнергию;
- выбросами от хладагентов, используемых в кондиционировании воздуха, которые отрицательно влияют на уровни озона и глобальный климат; выбросы, связанные с охлаждением и кондиционированием воздуха, составляют почти 64 % всех производств хладагентов;
- увеличение выбросов CO_2 вследствие потребления энергии в системах охлаждения.

Принимая к вниманию вышеприведенные факторы, авторами работы [7] предлагается снизить нагрузки систем кондиционирования путем использования ночных проветривания помещений, специально созданых для работы в ночное время; при этом кратность воздухообмена может превышать 10 ч⁻¹, что позволяет усилить охлаждение помещения. Количество подаваемого в помещение воздуха влияет на подвижность воздуха в помещении, а значит и на интенсивность теплоотдачи между воздухом и ограждающими конструкциями обстановки помещения.

ВЫВОДЫ

Для поддержания температуры тела человека на необходимом уровне требуется учет как индивидуальных способностей организма рабочего, так и особенностей технологического процесса в комплексе с работой систем климатизации, если таковые имеются. Сочетание вышерассмотренных сложностей и необходимости учета влияния солнечной радиации приводит к пониманию важности поиска дополнительных факторов, которые могут качественно изменить картину теплообменных процессов, протекающих в помещении. В качестве таких факторов можно рассмотреть солнцезащитные устройства и климатические системы с пофасадным регулированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева, Е. И. Экологический мониторинг параметров микроклимата [Текст] / Е. И. Тимофеева, Г. В. Федорович. – М. : [б. и.], 2005. – 194 с.
2. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека [Текст] / Л. Банхиди ; пер. с венг. В. М. Беляева ; под ред. В. И. Прохорова. – М. : Стройиздат. – 1981. – 248 с.
3. Кричагин, В. И. Принципы объективной оценки теплового состояния организма [Текст] : В кн. Авиационная и космическая медицина (под ред. В. В. Парина) / В. И. Кричагин. – М. : [б. и.], 1963. – С. 310–314.
4. Иванов, К. П. Физиология терморегуляции [Текст] / К. П. Иванов. – Л. : Наука, 1984. – 470 с.
5. Измеров, Н. Ф. Руководство по гигиене труда [Текст] / Н. Ф. Измеров. – М. : Медицина, 1987. – 368 с.
6. James, J. Passive cooling of buildings [Текст] / J. James // Group Building Environmental Studies, Physics Department, University of Athens «Advances of Solar Energy». – London. – 2005. – 57 р.
7. Маркевич, А. С. Воздушно-тепловой режим помещения [Текст] / А. С. Маркевич, А. Г. Рымаров // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – № 1. – С. 70–72.
8. Новожилов, Г. Н. Оценка эффективности повышения энерготрат при тепловой адаптации [Текст] / Г. Н. Новожилов // Физиология человека. 1980. – № 6. – С. 984–988.

Получено 11.10.2018

Б. В. КЛЯУС, Д. В. ВИБОРНОВ, А. В. ПЛУЖНИК
ВПЛИВ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ РОБОЧОЇ ЗОНИ
ПРИМІЩЕНЬ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У даній статті розглянуто вплив процесів переохолодження та перегрівання людини з урахуванням її тепловідчуття, середньозваженої температури шкіри і вологовтрати організму в приміщеннях при відносному спокії, а також при виконанні легкої роботи.

Ключові слова: мікроклімат, температура, тепловідчуття, тепловіддача, конвекція, випромінювання.

BOGDAN KLYAUS, DMITRY VYBORNOV, ANASTASIA PLUZHNIK
THE EFFECT OF CHANGES IN THE MICROCLIMATE PARAMETERS OF THE
WORKING AREA OF THE PREMISES ON THE HUMAN BODY
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In this article, the influence of the processes of super cooling and overheating of a person with allowance for his thermal sensations, average skin temperature and moisture loss of the body in rooms at relative rest, and also when performing light work is considered.

Key words: microclimate, temperature, thermal sensations, heat transfer, convection, radiation.

Кляус Богдан Валентинович – асистент кафедри 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 теплоносильных технологий.

Плужник Анастасия Вадимовна – магистр кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосберегающие технологии.

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

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

Плужник Анастасія Вадимівна – магістр кафедри теплотехніки, 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 – Master, 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 697.97

Р. А. ЛИННИК, Н. А. МАКСИМОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СХЕМ АБСОРБЦИОННОГО ТИПА СОЛНЕЧНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ**

Аннотация. Статья посвящена вопросам решения проблемы, связанной с истощением природных ресурсов, при помощи использования солнца в качестве источника энергии для целей охлаждения помещений. Представлен обзор схем солнечного охлаждения абсорбционного типа. Рассмотрена актуальность данной темы. Рассмотрены и проанализированы ошибки при использовании абсорбционных систем солнечного охлаждения.

Ключевые слова: градирня, коллектор, абсорбционная холодильная машина.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время проблема сохранения энергоресурсов как в пределах государства, так и мира достаточно актуальна. Благодаря развитию технологий ученые достигли достаточно высоких результатов в направлении использования солнца в качестве источника энергии. Однако актуальными являются разработки, связанные с использованием солнечной энергии для охлаждения помещений.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В работе [1] приведены конкретные схемы абсорбционного охлаждения, а также, основываясь на результатах экспериментальных исследований, приведены данные для расчета отдельных элементов предложенных схем систем солнечного охлаждения.

ЦЕЛИ

Целью является исследование возможности применения солнечной энергии для холодоснабжения помещений, обоснование возможности использования гелиоколлекторных систем в качестве источника теплоты для абсорбционных холодильных установок

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Современные абсорбционные системы солнечного охлаждения характеризуются двумя противоположными принципами работы. В первом случае используются непрерывно действующие системы кондиционирования. Их конструкция и действия сходны с обычными газовыми или паровыми установками. Они охлаждают помещение по требованию. К генератору энергия подается от системы коллектор-аккумулятор-дополнительный источник.

Во втором случае используются системы периодического действия. Они работают по аналогии с промышленными пищевыми холодильниками «Айси-болл» фирмы «Кросли». Данные установки использовались в селах, когда не было электрификации и комплексных холодильников.

Охлаждающие системы периодического действия не получили применения как для кондиционирования воздуха, так и для использования солнечной энергии. Непрерывные абсорбционные циклы можно применять в работе плоских коллекторов [1]. На рисунке 1 приведена схема возможных систем охлаждения с участием солнечной энергии. Плоские коллекторы характеризуются ограниченным интервалом работы, что уменьшает выбор промышленной установки. В таком случае подойдут системы,

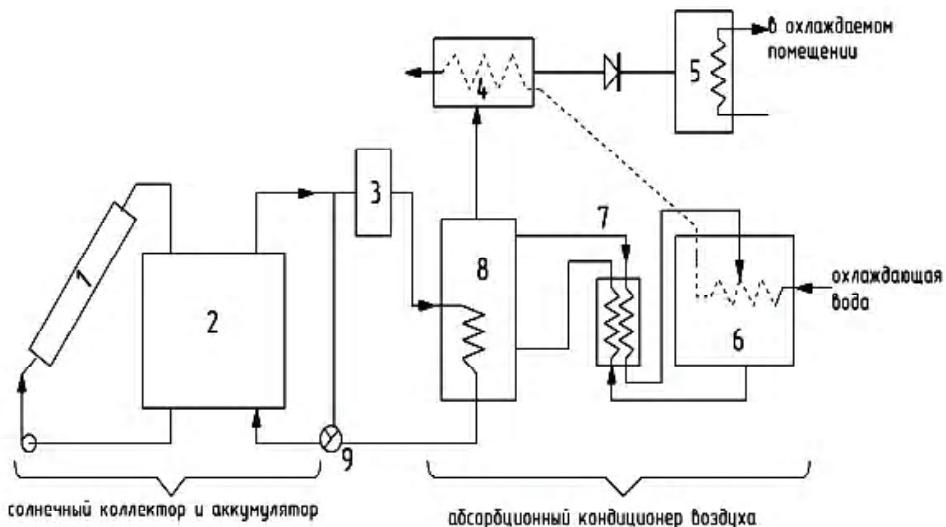


Рисунок 1 – Схема абсорбционной системы кондиционирования воздуха с использованием солнечной энергии:
 1 – коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – дополнительный источник энергии; 4 – конденсатор; 5 – испаритель; 6 – абсорбер; 7 – теплообменник; 8 – генератор; 9 – трехпозиционный кран.

которые работают на водном растворе бромида лития. Для эксплуатации машины необходима вода. Она будет охлаждать абсорбер и конденсатор. Охлаждающие системы на водном растворе аммиака в данном случае не подходят, потому что их генераторы требуют поддержание высоких температур.

Попытки создать абсорбционные системы с плоскими корректорами на данный момент не увенчались успехом. Если получится разработать охлаждающие установки на солнечной энергии, решится множество проблем:

1. Генератор сможет работать на более низких температурах.
2. Повысится эффективность использования энергии, которая поступает от коллектора в генератор.
3. Продуктивность последнего улучшится в разы.
4. Увеличится вероятность создания систем охлаждения с высоким КПД. Для этого можно применить двухступенчатые испарители. Они помогут снизить требования к подводимой энергии.

Условия работы, определенные ограничения в эксплуатации системы кондиционирования помогут за счет солнечной энергии создать новую, отличительную от других установок, систему. Она сможет работать на обычном топливе.

Абсорбционное кондиционирование непрерывного действия с использованием солнечной энергии вполне возможно реализовать на практике. Ученые Висконсинского университета уже проводили эксперимент с кондиционером на бромиде лития. В генератор такой установки добавляли горячую воду от солнечного водонагревателя. Экспериментальная машина показала неплохие результаты при кратковременной и долгосрочной работе [2].

Проведено исследование ряда систем солнечного охлаждения на водном растворе аммиака. В этих системах использовались плоские коллекторы без аккумулятора. Вода, поступающая в генератор, обычно имела температуру в интервале 60...93 °C; температура воды конденсата не оговаривалась. Типичные концентрации аммиака в абсорбере и генераторе составляли 58 и 39 %. Установка действовала непрерывно с различными расходами в зависимости от поступления энергии. Таким образом были проведены довольно существенные экспериментальные и теоретические исследования систем этого класса, однако диапазон конкретных исследований был довольно узок. Во всех этих исследованиях проблема аккумулирования энергии трактовалась неоднозначно, и только один эксперимент был посвящен исследованию вопросов комбинированной системы отопления и охлаждения.

Еще один тип солнечного охлаждения – абсорбционное кондиционирование периодического действия. На сегодняшний день известны научные работы, которые посвящены таким циклам. Они исследуют возможность хранения пищи в подобных холодильниках. В упомянутых циклах происходит выделение хладагента из абсорбента в стадию регенерации. Он конденсируется и аккумулируется.

В стадию охлаждения хладагент испаряется, потом снова поглощается [3]. На рисунке 2 представлена возможная схема кондиционирования воздуха. На ней изображены генератор и абсорбент, конденсатор и испаритель, которые совмещаются в одном цикле.

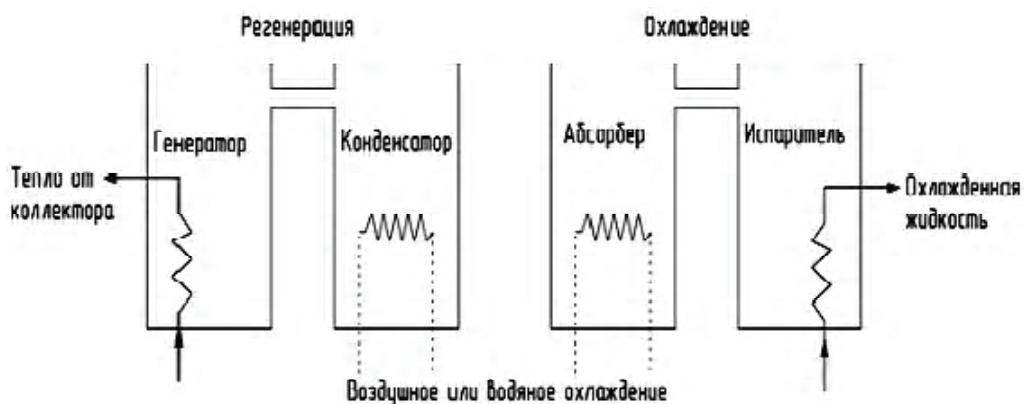


Рисунок 2 – Схема периодического абсорбционного цикла охлаждения: слева – цикл регенерации, справа – цикл охлаждения.

Согласно вышеупомянутой схеме можно разделить аккумулирование хладагента и абсорбента. В основе простого цикла лежит введение пар испарителей, конденсаторов. Он позволит создать непрерывный охлаждающий процесс и получить высокий КПД. В периодических циклах используют растворы: $\text{NH}_3\text{-HO}$, $\text{NaH}_3\text{-NaSCN}$. Другой вариант – растворы NaSCN в NH_3 в виде абсорбента и NH_3 в виде хладагента [4].

Исследование разнообразных схем солнечного охлаждения показало, что применение схем солнечного охлаждения абсорбционного типа способствует уменьшению потребления электроэнергии.

Сегодня все инженерные системы вентиляции и кондиционирования ставят акцент над задачей энергосбережения.

Использование солнечной энергии для климатизации обогрева и охлаждения – это следующий этап преобразования выбросов солнечной энергии в полезную человеку энергию.

Темой данного исследования является разработка системы солнечного охлаждения (кондиционирования) офисного помещения с использованием солнечной энергии, что является приоритетным в данный период времени [5]. Не секрет, что сегодня использование солнечной энергии для кондиционирования воздуха является неотъемлемой частью не только для южных регионов, где затраты на охлаждение доминирующие в расходах тепла и поддержании комфортных условий в помещениях, а также практически не отличаются от применения в общественных зданиях средних и северных регионов.

Рассмотрим преимущества использования солнечной энергии для кондиционирования, это:

- 1) график прихода солнечной энергии совпадает с графиком потребления холода;
- 2) добавление солнечного охлаждения позволяет значительно улучшить экономику солнечного теплоснабжения.

Рассмотрим функциональную схему солнечного кондиционера (рис. 3). Она наглядно показывает нам, как экономно используется солнечная энергия в качестве первичного источника тепла в летнее время в климатических условиях в системах кондиционирования воздуха.

ВЫВОД

На основании анализа определено, что с целью уменьшения потребления электроэнергии возможно применение схем солнечного охлаждения абсорбционного типа. Предложена функциональная схема солнечного кондиционера. Использование в качестве рабочего вещества для абсорбционной холодильной машины раствора бромистый литий – метанол дает возможность выпускать холодильные машины с уменьшенными габаритными размерами и массой.

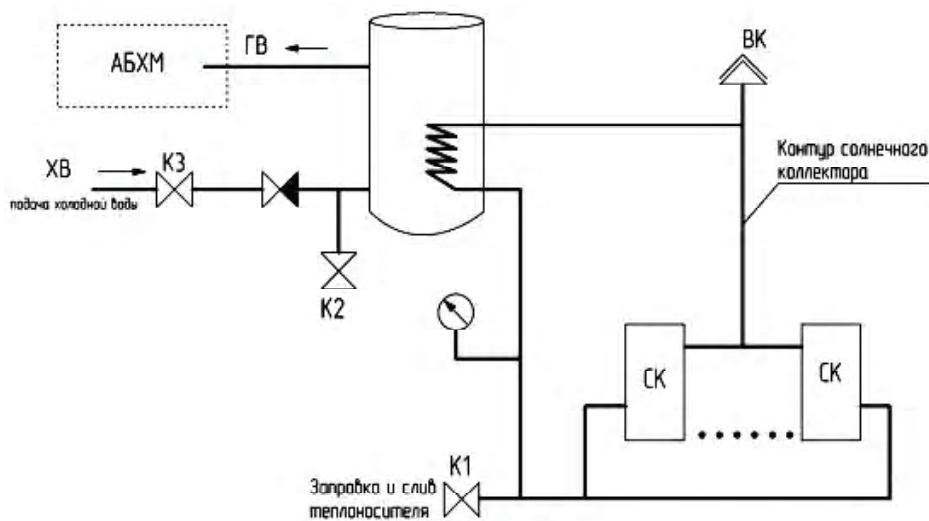


Рисунок 3 – Функциональная схема солнечного кондиционера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Даффи, Джон А. Термодинамические процессы с использованием солнечной энергии [Текст] / Дж. А. Даффи, У. А. Бекман ; Пер. с англ. под ред. д-ра техн. наук Ю. Н. Малевского. – Москва : Мир, 1977. – 420 с. : ил.
- Дорошенко, А. В. Альтернативные холодильные и кондиционирующие системы с комбинированным греющим источником [Текст] / А. В. Дорошенко, М. М. Концов, А. А. Побережкин // Холодильная техника и технология. – 2000. – Вып. 69. – С. 47–56.
- Плещка, М. С. Система кондиционирования микроклимата здания с использованием солнечной энергии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Михаил Семенович Плещка. – Москва : [б. и.], 2005. – 288 с.
- Плотников, К. В. Кондиционирование зданий посредством солнечной энергии [Текст] / К. В. Плотников, А. И. Алифанова, А. С. Семиненко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 7–2. – С. 59–61.
- Горин, А. Н. Альтернативные холодильные системы и системы кондиционирования воздуха [Текст] / А. Н. Горин, А. В. Дорошенко. – 2-е перераб. и доп. издание. – Донецк : Норд-Пресс, 2007. – 362 с.

Получено 12.10.2018

Р. О. ЛИННИК, Н. А. МАКСИМОВА
 ВИКОРИСТАННЯ СХЕМ АБСОРБЦІЙНОГО ТИПУ СОНЯЧНОГО
 ОХОЛОДЖЕННЯ
 ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Стаття присвячена питанням вирішення проблеми, пов'язаної з виснаженням природних ресурсів, за допомогою використання сонця як джерела енергії для охолодження. Дано огляд схем сонячного охолодження абсорбційного типу. Розглянуто актуальність даної теми. Розглянуто та проаналізовано помилки при використанні абсорбційних систем сонячного охолодження.

Ключові слова: градирня, колектор, абсорбційна холодильна машина.

ROMAN LINNIK, NATALYA MAKSIMOVA
 USING OF ABSORPTION COOLING TYPE SOLAR CIRCUITS
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article is devoted to solving problems related to the depletion of natural resources, using the sun as a source of energy for cooling. A review of absorption-type solar cooling schemes is given. It has been considered the relevance of this topic. Errors when using absorption systems of solar cooling have been considered and analyzed.

Key words: cooling tower, manifold, absorption chiller.

Линник Роман Александрович – магистрант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Максимова Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка термотрансформаторов и тепловых насосов, энергоресурсосбережение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Линник Роман Олександрович – магістрант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах опалення, вентиляції і кондиціювання повітря.

Максимова Наталя Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка термотрансформаторів і теплових насосів, енергоресурсозбереження в системах вентиляції і кондиціювання повітря.

Linnik Roman – Master's student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in ventilation and air conditioning systems.

Maksimova Natalya – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermo transformers and thermo compressors development, energy and resource saving in ventilation and air conditioning systems.

УДК 541.136/136.88:504.062.2

М. М. ЯЛАЛОВА, А. И. СЕРДЮК

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВЛИЯНИЕ ПАВ НА ВЫБРОСЫ ФТОРИДОВ С ПОВЕРХНОСТИ БОРФТОРИСТОВОДОРОДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы образования вредных выбросов в окружающую среду при электрохимической переработке отработавших свой срок службы свинцово-кислотных аккумуляторов. Произведена оценка влияния органических добавок на выбросы фторидов с поверхности борфтористоводородного электролита для переработки СКА. Выведена количественная зависимость выбросов фторидов в атмосферу от поверхностного натяжения на границе жидкость-воздух, которая определяется природой поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: отработанные автомобильные аккумуляторы, выбросы, фториды, борфтористоводородный электролит, поверхностно-активные вещества.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Свинцово-кислотных аккумуляторы (СКА) с не слитым электролитом представляют большую угрозу для состояния окружающей среды, т. к. в состав отхода входит один из самых токсичных тяжелых металлов – свинец.

Свинец – опасный элемент, принадлежащий к группе тяжелых токсичных металлов, но довольно ценный. Он используется в дальнейшем как вторичный ресурс для изготовления новых батарей.

С позиции технологичности и экологичности электрохимические методы переработки имеют несколько существенных достоинств. Особенностью электрохимических методов переработки является обязательная разделка блоков батарей, позволяющая получить фракции органического и металлического типа. Это позволяет избежать сжигания органики и, как следствие, выбросов в атмосферу вредных химических элементов.

Для электролиза свинца было предложено много различных электролитов – кислых, щелочных, комплексных. Из них широкое распространение в промышленности получили фторборатные электролиты [1]. Они достаточно просты в приготовлении и корректировании, обеспечивают получение высококачественных и мелкокристаллических покрытий в широком интервале содержания компонентов сплава. Наличие в электролите повышающей его буферную емкость борной кислоты препятствует гидролизу солей металлов, который вызывает потери их ионов, загрязняет электролит взвешенными частицами и вызывает унос из электролита органических добавок [2].

Борфтористоводородные электролиты устойчивы и менее чувствительны к загрязнению постоянными металлами.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящие в состав борфтористоводородного электролита, повышают технологические параметры вновь образованного свинцового покрытия, улучшая микроструктуру поверхностного слоя [3].

Поэтому наряду с токсичными комплексами электролитов кислотные электролиты, содержащие эффективные добавки поверхностно-активных веществ, могут заменять токсичные цианистые электролиты.

Газовые выбросы вредных веществ с поверхности электролитов будут зависеть от поверхностного натяжения на границе жидкость-воздух.

Недостатком электрохимического метода переработки аккумуляторов является выбросы вредных веществ с поверхности электролитов, в том числе борфтористоводородных.

Наличие в растворах электролитов поверхностно-активных веществ приводит к снижению их поверхностного натяжения, что может оказывать влияние на выбросы фторидов с зеркала электролита.

Известно, что чем сильнее молекулы притягиваются друг к другу, тем жидкость менее летучая, и наоборот, чем меньше показатель поверхностного натяжения жидкости, тем более она летучая.

Поверхностное натяжение жидкостей определяли наиболее распространенным методом измерения максимального давления в газовом пузырьке. Данный метод отличается простотой аппаратурного оформления и достаточно высокой точностью.

Влияние органических добавок на выбросы фторидов с поверхности электролита для переработки СКА мало изучены, поэтому интенсивность выделения фторидов оценивалась в борфтористоводородном электролите, в качестве примесей к которому использовали поверхностно-активные вещества – сульфитно-спиртовая барда (ССБ), желатина, этиленгликоль, полиэтиленоксид и глицерин.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Показано, что состав раствора электролита влияет на состав выбросов загрязняющих веществ. Качественная характеристика выбросов зависит от концентрации соли свинца и кислоты в растворе [4].

В статье [6] показаны результаты эксперимента по определению влияния органических добавок на интенсивность газовыделения на электродах при переработке свинцово-кислотных аккумуляторов и интенсивность выделения загрязняющих веществ с поверхности электролита. Описанные в работе исследования в основном проводились при плотности тока выше предельно допустимой, т. е. в тех условиях, при которых происходит выделение водорода на катоде и кислорода на аноде. В практике при таких условиях электролиз не проводят, т. к. это к тому же приводит к низкому выходу по току и плохому качеству свинцового покрытия.

Поэтому количественные исследования влияния ПАВ на выбросы фторидов с поверхности электролита, используемого для переработки отработанных СКА, представляет актуальную задачу с учетом экологической безопасности процесса переработки.

ЦЕЛЬ

Оценка влияния различных ПАВ на поверхностное натяжение и удельные выбросы фторидов от электролитических ванн с поверхности борфтористоводородных электролитов, используемых при электрохимической переработке СКА с целью уменьшения вредных выбросов в атмосферу с зеркала электролитов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для изучения влияния состава электролита на выбросы фторидов был проведен эксперимент, в ходе которого изучались зависимости выделения фторидов на электродах от природы ПАВ. Для исследования использовались электролиты без добавок и с добавлением органических веществ: желатины, этиленгликоля, глицерина, полиэтиленоксида, ССБ, ССБ+этиленгликоля в различных концентрациях. Эксперименты проводились в электролитах, состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Составы борфтористоводородных электролитов и режимы работы электролиза

| № п/п | Компоненты электролитов и режимы их работы | Состав электролитов, г/л | | | |
|----------|--|--------------------------|---------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | HBF_4 | 180–210 | 40–45 | 120 | 60 |
| 2 | $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ | 30–50 | 180–200 | 120 | 120 |
| 3 | H_3BO_3 | | | 30 | |
| 4 | ПАВ | | | 1 | |
| 5 | Температура, °С | | | 25 | |
| 8 | Ссылка на источник описания | [1] | [1] | [1] | [6] |

Для определения фторидов использовали фотоколориметрический метод с ализарин-комплексоном и нитратом лантана [7].

Эксперименты также проводили при плотности тока на катоде 100 и 200 А/м², которые ниже предельно допустимой. Установлено, что значение выбросов фторидов с поверхности электролитов не зависит от плотности тока при данных величинах последнего.

Установлено, что основными выбросами при электрохимической переработке СКА являются фториды, которые составляют 84...99 %.

Рассчитали удельные выбросы фторидов при различных ПАВ для составов электролитов, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние различных ПАВ на поверхностное натяжение (σ) и удельные выбросы фторидов с зеркала борфтористоводородных электролитов ($V_{уд}$)

| № п/п | Наименование ПАВ | Номер электролита | | | | | |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | σ , мН/м | $V_{уд}$, мг/(с·м ²) | σ , мН/м | $V_{уд}$, мг/(с·м ²) | σ , мН/м | $V_{уд}$, мг/(с·м ²) |
| 1 | без ПАВ | 74,6 | 5,1 | 73,4 | 1,2 | 74,2 | 3,0 |
| 2 | ССБ | 44,8 | 8,5 | 43,9 | 2,0 | 44,4 | 5,1 |
| 3 | ССБ+этиленгликоль | 65,3 | 6,0 | 64,0 | 1,4 | 64,6 | 3,6 |
| 4 | этиленгликоль | 66,7 | 5,7 | 65,4 | 1,3 | 66,0 | 3,4 |
| 5 | полиэтиленоксид | 60,4 | 6,6 | 61,6 | 1,5 | 59,8 | 4,0 |
| 6 | глицерин | 71,7 | 5,3 | 73,2 | 1,2 | 71,0 | 3,2 |
| 7 | желатина | 72,8 | 5,2 | 74,3 | 1,2 | 72,0 | 3,2 |
| | | | | | | | 74,4 |
| | | | | | | | 1,7 |

Наименьшие выбросы соединений фтора наблюдаются при использовании электролита без добавок органических веществ, наибольшие – при использовании электролита с добавкой ССБ.

По методу наименьших квадратов вывели зависимость выбросов фторидов от поверхностного натяжения, которая представлена на рисунке.

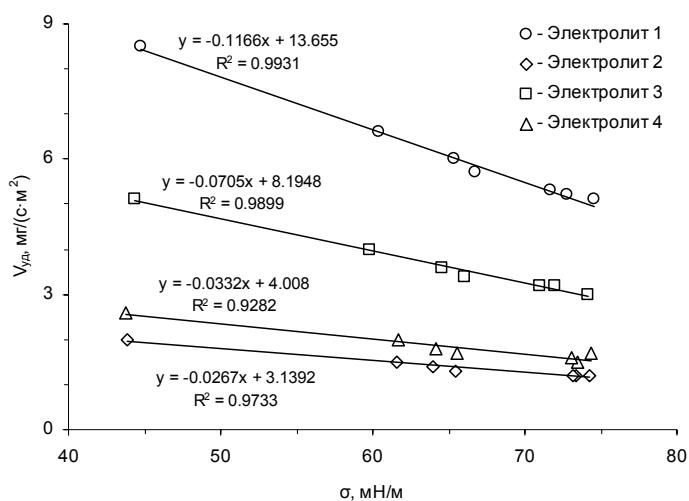


Рисунок – Линейная зависимость выбросов фторидов ($V_{уд}$) от поверхностного натяжения (σ).

Из рисунка видно, что чем больше абсолютные значения выбросов, тем сильнее они зависят от поверхностного натяжения раствора на границе жидкость-воздух. Это изменение наиболее наглядно прослеживается в ряду электролитов 1, 2, 3, 4.

ВЫВОДЫ

Выведена линейная зависимость выбросов фторидов от поверхностного натяжения на границе жидкость-воздух, которая определяется природой поверхностно-активных веществ. Установленные

количественные закономерности могут быть использованы для разработки электролитов, обеспечивающих экологическую безопасность при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беленький, М. А. Электроосаждение металлических покрытий [Текст] : справ. изд. / М. А. Беленький, А. Ф. Иванов. – М. : Металлургия, 1985. – 288 с.
2. Байрачный, Б. И. Электроосаждение сплава олово-свинец из борфтористоводородного электролита без поверхностно-активных веществ [Текст] / Б. И. Байрачный, Л. В. Трубникова, А. А. Майзелис // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2003. – С. 31–37.
3. Поверхностно-активные вещества и композиции [Текст] : справочник / Под ред. М. Ю. Плетнева. – М. : Кларквелль, 2002. – 768 с.
4. Назарова, В. В. Оценка риска воздействия вредных веществ, выделяющихся на стадии электролиза при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторов [Текст] / В. В. Назарова // Відтіві Автомобільно-дорожнього інституту. – ДонНТУ, 2011. – № 2(13). – С. 179–184.
5. Fluorine Compounds, Inorganic [Текст] : In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / [J. Aigueperse, P. Mollard, D. De Villiers, M. Chemla, R. Faron, R. Romano, J. Cuer]. – Weinheim : Wiley-VCH, 2005. – 28030 р. – РР. 307-309. – ISBN 3527303855, 9783527303854.
6. Junji, L. Adsorption kinetics at air/solution interface studied by maximum bubble pressure method [Text] / L. Junji, W. Chuangye, M. Ulf // Colloid & Polymer Science. 2004. – Volume 283, Issue 2, December. – РР. 139–144.
7. ПНД Ф 13.1.45-03 Количество-химический анализ атмосферного воздуха и выбросов в атмосферу. Методика выполнения измерений массовой концентрации фтористого водорода в пробах промышленных выбросов фотометрическим методом [Текст]. – Введ. 22.12.2003. – М. : ФГУ «ФЦАМ МПР России», 2003. – 18 с.

Получено 08.10.2018

М. М. ЯЛАЛОВА, О. І. СЕРДЮК
ВПЛИВ ПАР НА ВИКИДИ ФТОРИДІВ З ПОВЕРХНІ
БОРФТОРИСТОВОДНЕВОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ
СВИНЦЕВИХ АКУМУЛЯТОРІВ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У даній статті розглянуті проблеми утворення шкідливих викидів у навколоінше середовище при електрохімічній переробці відпрацьованих свій термін служби свинцово-кислотних акумуляторів. Зроблено оцінку впливу органічних добавок на викиди фторидів з поверхні борфтористоводневого електроліту для переробки СКА. Виведена кількісна залежність викидів фторидів у атмосферу від поверхневого натягу на межі рідина-повітря, яка визначається природою поверхнево-активних речовин.

Ключові слова: відпрацьовані автомобільні акумулятори, викиди, фториди, борфтористоводневий електроліт, поверхнево-активні речовини.

MARGARITA YALALOVA, ALEXANDER SERDYUK
INFLUENCE OF SURFACTANTS ON FLUORIDE EMISSIONS FROM THE
SURFACE OF FLU BORIC ELECTROLYTE FOR RECYCLING LEAD BATTERIES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. This article deals with the problems of formation of harmful emissions into the environment during electrochemical processing of lead-acid batteries that have worked their lifetime. The effect of organic additives on the fluoride emissions from the surface of the flu boric electrolyte for the processing of lead-acid batteries has been estimated. It has been determined the quantitative dependence of fluoride emissions in the atmosphere on the surface tension at the liquid-air interface, which is determined by the nature of the surfactants.

Key words: waste automotive batteries, emissions, fluorides, flu boric electrolyte, surfactants.

Ялалова 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, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка физико-химических основ переработки промышленных отходов.

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

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

Yalalova 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 504.4; 628.11;628.17; 628.19

О. И. БАЛИНЧЕНКО^а, Д. Н. МАНДРЫКИН^б^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,^б Коммунальное предприятие «Вода Донбасса»

УЛУЧШЕНИЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПГТ СЕДОВО

Аннотация. В данной статье представлены рекомендации по улучшению водоснабжения Юга Донецкого региона по данным состава воды пгт Седово. Изученные проблемы связаны с постоянным дефицитом водных ресурсов в этих местах и требуют неотложного и научно обоснованного решения. Возможные варианты схем водоснабжения даны с учетом новых технологий, экономии воды, а также с необходимостью бережного отношения к экологии региона. Авторы наметили несколько возможных технологий орошения и умягчения подземной воды из существующих артезианских скважин, которые до сих пор подавали только воду питьевого качества. На основании проведенных поисков и расчетов был рекомендован оптимальный вариант получения воды питьевого качества для реализации специалистам.

Ключевые слова: опреснение воды, электродиализ, обратный осмос или гиперфильтрация, дистилляция.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Подземная вода, используемая для водоснабжения населенных пунктов Юга ДНР, многие годы не удовлетворяет ни качеству, ни объему водопотребления населения. Она содержит значительное количество примесей, однако в ней мало органических и мутнообразующих компонентов, что делает ее приемлемой при небольшом солесодержании.

Свойства подземной воды в общем случае зависят от тех слоев земли, через которые она фильтруется, а также от процессов, происходящих при взаимодействии подземной воды с земной корой. Минеральный состав подземной воды формируется за счет выщелачивания растворимых солей, находящихся в почве при соприкосновении с осадочными породами и перехода воды из связанного состояния в свободное под влиянии высоких температур и давления. Такая вода относительно стабильна по качеству и весьма защищена от влияний извне.

Источником питьевой воды для приазовского поселка Седово являются 5 водозаборных скважин. При этом вода не соответствует ГОСТу на питьевую воду и подается населению по «Специальному водопользованию» многие годы. Эти скважины работают на пределе своих возможностей, не справляясь с нагрузкой ни по дебиту, ни по качеству воды. А речь идет о перспективном развитии инфраструктуры поселка Седово. Пока в системе водоснабжения не имеется никаких сооружений или мероприятий, позволяющих улучшить качество и объем подаваемой воды. Стоит наметить пути решения указанных проблем.

Целью данной работы является выявление влияния различных факторов, изменений в состоянии водных ресурсов пгт Седово за последние годы, прогнозы и рекомендации по улучшению системы водоснабжения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ (ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ)

Рассмотрим подробнее качественный состав воды (табл. 1, 2), поступающей из 5 водозаборных скважин к потребителям поселка Седово и еще некоторым другим населенным пунктам.

Как видно, в данной воде преобладают хлориды и в основном натрия – наиболее трудно удаляемые элементы, придающие воде недопустимо соленый вкус. Для избавления от этих ионов в мире используются самые сложные и дорогостоящие технологии из всех методов водоочистки, при этом образуются осадки, утилизация которых опять порождает проблемы с засолением воды.

© О. И. Балинченко, Д. Н. Мандрыкин, 2018

Таблица 1 – Состав воды, поступающей к потребителям пгт Седово

| Элементы солевого состава | лимит мг/л | лимит т/год | за 2017 год | | | | Разница между |
|---------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|---------------|---------------|
| | | | мг/л | м. куб./год | кг/год | тонн/год | |
| 1 взв-ные в-ва | 15 | 3,8 | 15,1 | 170 061,618 | 2 567,9 | 2,568 | 1,232 |
| 2 БПК 5 | 15 | 3,8 | 15,1 | 170 061,618 | 2 567,9 | 2,568 | 1,232 |
| 1 ³ ХПК | 80 | 20 | 71,40 | 170 061,618 | 12 142,4 | 12,142 | 7,858 |
| 4 азот | 2,0 | 0,5 | 2,03 | 170 061,618 | 345,2 | 0,345 | 0,155 |
| 5 нитриты | 3,3 | 0,8 | 2,89 | 170 061,618 | 491,5 | 0,491 | 0,309 |
| 6 нитраты | 110 | 27,5 | 115,2 | 170 061,618 | 19 591,1 | 19,59 | 7,909 |
| 7 фосфаты | 6,6 | 1,7 | 6,30 | 170 061,618 | 1 071,4 | 1,071 | 0,629 |
| 8 железо | 0,3 | 0,08 | 0,29 | 170 061,618 | 49,3 | 0,049 | 0,031 |
| 9 сульфаты | 1 400 | 350 | 1 377 | 170 061,618 | 234 174,8 | 234,2 | 115,825 |
| 10 хлориды | 700 | 175 | 692 | 170 061,618 | 117 682,6 | 117,7 | 57,317 |
| 11 сухой остат. | 3 600 | 900 | 3 629 | 170 061,618 | 617 153,6 | 617,2 | 282,846 |
| 12 СПАВ | 0,5 | 0,13 | 0,38 | 170 061,618 | 64,6 | 0,065 | 0,065 |
| 13 нефтепрод. | 0,3 | 0,08 | 0,30 | 170 061,618 | 51,0 | 0,051 | 0,029 |

Примечание. «Лимиты» на содержание указанных химических веществ в подаваемой воде установлены согласно «Специальному водопользованию» и значительно превышают разрешенные значения для питьевой воды, что позволило получить позитивную разницу и подавать хоть какую-то воду населению.

Особенно велики значения количества кальция и магния (по 13 мг-экв/л), что дает до 26 мг-экв/л общей жесткости более трех норм по ГОСТу. Также значительно, 2–3 раза, превышают нормы для питьевой воды концентрации хлоридов и сульфатов. Сухой остаток (> 3 500 мг/л), представляющий для подземной воды практически общее солесодержание, также огромен, при норме для питьевой воды не более 1 000 мг/л. Эти данные соответствуют 2017 году, то есть положение весьма критично и требует скорейшего улучшения.

Показатели качества говорят о засоленности и огромной жесткости подаваемой воды, что не позволяет решить проблему даже открытием новых скважин, если позволит дебит их в целом. Нужна технология добычи малосоленой и маложесткой воды, желательно ниже ГОСТовских пределов – для разбавления подаваемой из скважин. В технологиях водоснабжения такие процессы имеют квалификацию «умягчения» и «опреснения» и применяются в основном в промышленности. Там и следует искать технологические решения.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕСНЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫБОРУ

По литературным источникам [1, 2] в зависимости от особенностей протекания процесса, существует 2 большие группы методов. А – с изменением агрегатного состояния воды и Б – без изменения.

Итак, А:

I. Процессы термического опреснения:

1. Испарение с применением поверхностей нагрева:
 - простое выпаривание;
 - парокомпрессионная дистилляция;
 - пленочное испарение;
 - нагрев воды до сверхкритических температур.
2. Вакуумное выпаривание.
3. Гидрофобное выпаривание с применением несмешивающихся с водой жидкостей.
4. Гелиоопреснение.

II. Процессы использования холода (очевидно, в южных областях Приазовья неэффективные).

Итак, Б:

I. Опреснение воды без изменения ее агрегатного состояния.

1. Ионный обмен.
2. Осаждение солей с помощью реагентов.
3. Электролиз.

II. Процессы использования мембран.

1. Электродиализ.
2. Гиперфильтрация или обратный осмос.

Таблица 2 – Состав воды в источниках и у потребителей (одиночные пробы)

| Места отбора проб | Число анализов | Дата | Запах, балл | Прикус, балл | pH | Цветность, град. | Аммоний, мг/дм ³ | Нитраты, мг/дм ³ | Нитриты мг/дм ³ | Железо общее мг/дм ³ | Хлориды, мг/дм ³ | Сульфаты, мг/дм ³ | Кальций, мг/дм ³ | Магний, мг/дм ³ | Сухой остаток, мг/дм ³ | Жесткость общая, моль/дм ³ |
|-------------------|----------------|-------|-------------|--------------------|------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Скважина № 1 | 1 | 11.04 | 0–0 | 0 | 7,18 | < 5 | < 0,10 | < 0,002 | 34,0 | 0,11 | 629 | 1 517 | 301 | 182 | 3 467 | 30 |
| Скважина № 2 | 1 | 11.04 | 0–0 | 0 | 7,51 | < 5 | < 0,10 | < 0,002 | 28,0 | 0,14 | 576 | 1 492 | 301 | 182 | 3 575 | 30 |
| Скважина № 3 | 1 | 11.04 | 0–0 | 0 | 7,55 | < 5 | < 0,10 | < 0,002 | 26,0 | 0,09 | 629 | 1 517 | 301 | 182 | 3 681 | 30 |
| Скважина № 4 | 1 | 11.04 | 0–0 | 0 | 7,32 | < 5 | < 0,10 | < 0,002 | 35,0 | 0,12 | 594 | 1 420 | 301 | 182 | 3 461 | 31 |
| РЧВ ВНС 2 | 1 | 07.02 | 0–1 хл | ¹ хл | 7,43 | < 5 | < 0,10 | < 0,002 | 28,0 | 0,11 | 598 | 1 478 | 301 | 182 | 3 580 | 30 |
| РЧВ ВНС 2 | 1 | 28.02 | 0–1 хл | ¹ хл | 7,22 | < 5 | < 0,10 | < 0,002 | 25,0 | 0,08 | 593 | 1 485 | 301 | 182 | 3 595 | 30 |
| РЧВ ВНС 2 | 1 | 16.05 | 0–1 хл | ¹ хл | 7,34 | 7 | < 0,10 | < 0,002 | 29,0 | 0,13 | 595 | 1 491 | 301 | 182 | 3 602 | 30 |
| РЧВ ВНС 2 | 1 | 08.08 | 0–1 хл | ¹ хл | 7,17 | 6 | < 0,10 | < 0,002 | 31,0 | 0,11 | 603 | 1 494 | 301 | 182 | 3 591 | 30 |
| РЧВ ВНС 2 | 1 | 11.09 | 0–1 хл | ¹ хл | 7,26 | 6 | < 0,10 | < 0,002 | 27,0 | 0,15 | 592 | 1 504 | 301 | 182 | 3 619 | 30 |
| РЧВ ВНС 2 | 1 | 07.11 | 0–1 хл | ¹ хл | 7,29 | 6 | < 0,10 | < 0,002 | 26,0 | 0,14 | 596 | 1 495 | 301 | 182 | 3 597 | 30 |

3. Осмос.

III. Экстракционные и адсорбционные процессы.

1. Экстракция органическими растворителями (не подходит).
2. Экстракция воды в виде кристаллизационной воды кристаллогидратов – газогидратный метод (подходит лишь для микроскопических расходов).

3. Электрическая адсорбция с помощью пористых электродов (не подходит для питьевой воды).

IV. Биологические процессы с использованием морских водорослей (не подходит для питьевой воды)

Все указанные и не отвергнутые по здравому смыслу методы, в принципе, могут быть использованы для процесса орошения. Какой именно будет принят для конкретного поселка Седово – зависит от его экономической эффективности, а также простоты осуществления и надежности действия.

Оценка экономической эффективности наиболее распространенного метода – орошения испарением – производится по следующим показателям:

- а) удельному расходу энергии, затрачиваемой на получение 1 кг дистиллята;
- б) коэффициенту относительной выработки вторичного пара, представляющим собой отношение производительности установки к расходу энергии или топлива на ее работу с учетом собственных нужд;
- в) стоимости орошения.

По данным [1, 3] стоимость орошения воды, полученной способом испарения (дистилляции), в 70-е годы была в пределах 0,2...0,6 руб./куб. м. По тем же данным для электродиализа эта сумма составляла около 0,05 руб./куб.м для солоноватых вод с солесодержанием до 2 100 мг/л, а для морской

воды – достигала 0,2...0,3 руб./куб. м, естественно, в ценах того времени. Причем для снижения стоимости воды рекомендовалось увеличение числа ионитовых диафрагм или их размеров. При этом 10..15 % получаемой воды должно уходить на промывку диафрагм. С ростом солесодержания происходит возрастание потребления электроэнергии на процесс обессоливания электродиализом, поэтому на морской воде она будет менее эффективна, чем на подземной (для нашего поселка Седово).

Литературные данные [4, 5] также говорят о еще меньшей экономической эффективности гелиоопреснения, несмотря на кажущуюся дешевизну «солнечного» метода, очевидно, из-за крайне низкого КПД (несколько %). Химический метод (ионный обмен) в процентах также не особо эффективен, но является стандартным и поэтому часто выигрывает благодаря своей разработанности и надежности.

Метод гиперфильтрации в последнее время получил весьма широкое распространение [2], но используется эффективно для получения семейных водоопреснительных аппаратов низкой степени опреснения (удаления излишков некоторых солей из воды почти питьевого качества). Для установок более крупной производительности и сильной степени опреснения резко возрастают конструктивные сложности, в частности, требуемые давления (до 10 МПа), что усложняет подбор мембран. Для мембран, выпускаемых на объединении «Стирол» для двухступенчатой установки производительностью 112,5 куб. м/ч при солесодержании воды 1 483 мг/л годовая стоимость замены мембраноносительных элементов – 1 512 шт. – составила бы \$ 430 920 [1]. Однако в настоящее время выпускаются и более дешевые мембранны.

На рис. 1 и 2 [4] приведены зависимости стоимости опреснения воды различными методами и в зависимости от производительности в сутки.



Рисунок 1 – Стоимость опреснения воды различными способами при разном солесодержании: 1 – дистилляция; 2 – электродиализ; 3 – химическое обессоливание (ионообмен).

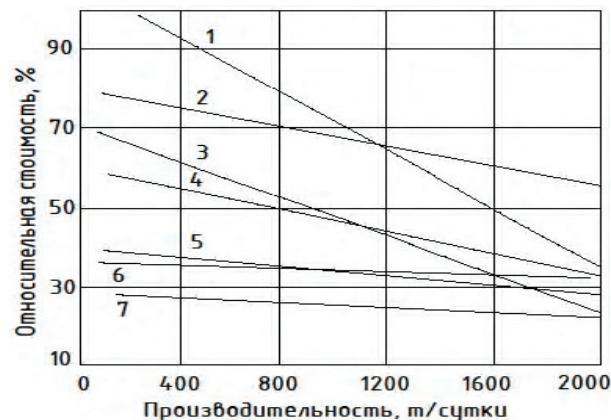


Рисунок 2 – Относительная стоимость опресненной воды: 1 – однокорпусный поверхностный испаритель; 2 – 3-5 – ступенчатый поверхностный испаритель; 4 – парокомпрессионный испаритель; 5 – электродиализ; 6 – искусственное вымораживание; 7 – роторные испарители (с вращением слоя испаряющейся воды).

ИЗБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЩИЕ РАСЧЕТЫ

Таким образом, следует выбирать между технологиями химического опреснения (ионообмена) и дистилляции. Первая традиционна и потому разработана и надежна, вторая более энергоемка, сложнее в эксплуатации и менее надежна. Обе предполагают наличие отходов, солей, но при ионообмене – их больше. Окончательный выбор – за заказчиком.

По поводу другого процесса – умягчения подземной воды для поселка Седово, то есть снижения жесткости от 30 до 7 мг-экв/л, то оно произойдет в процессе опреснения. Поэтому стоит рекомендовать ионообменные фильтры для всего процесса. Таким образом, для подземной воды поселка Седово можно предусмотреть следующую ориентировочную схему очистки (рис. 3).

Для снижения жесткости рекомендуется последовательное одноступенчатое Н-ОН-катионирование, так как данный способ можно использовать как опреснение без привлечения в обработанную воду каких-либо веществ, включая углекислый газ. Для удаления растворенного кислорода предусматриваются дегазаторы.



Рисунок 3 – Схема очистных сооружений для усовершенствования водоснабжения пгт Седово: О (У) – отстойник-известковый умягчитель; Б – бак с перекачивающими насосами; М – механический фильтр; Н – водород-катионирование; ОН – катионирование; ДА – деаэратор; Ш – шламонакопитель.

Население пгт Седово составляет 2 661 чел. (на 01.01.2015). Если назначить среднесуточный расход на одного жителя равным 200 л·чел./сут. [СНиП 2.04.02084], то среднесуточный расход пгт Седово будет равным $532 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Максимальный расчетный суточный расход будет равным: $Q_{\text{сут. макс.}} = 532 \cdot 1,3 = 692 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Максимальный расчетный часовой расход: $Q_{\text{ч. макс.}} = 692 \cdot 1,92 / 24 = 55 \text{ м}^3/\text{ч.}$ Рассчитанная схема сооружений опреснения подземной воды пгт Седово методом ионообмена предполагает следующую систему водоснабжения (рис. 4).

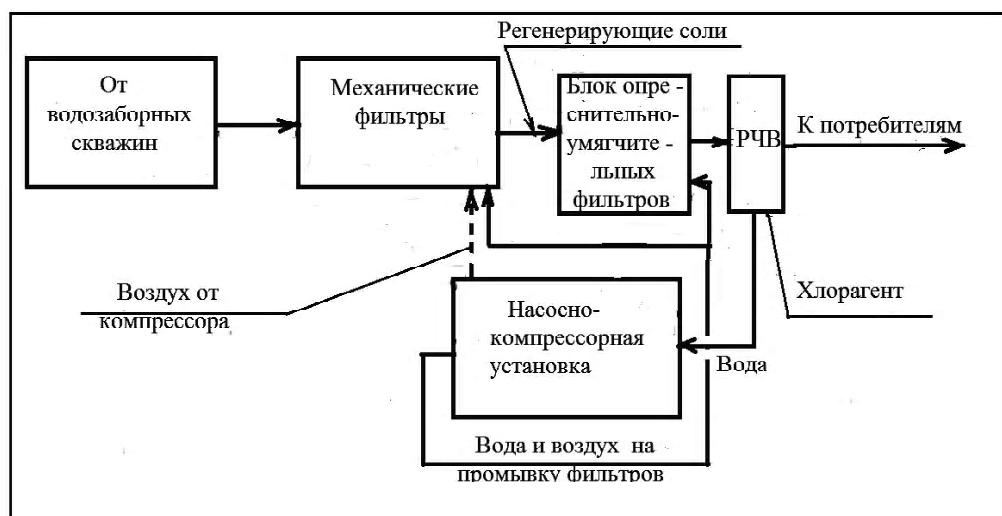


Рисунок 4 – Вариант схемы водоснабжения пгт Седово с опреснением методом ионообмена.

В результате внедрения данной схемы водоснабжения получались весьма значительные объемы осадков карбоната кальция и концентрированных растворов натриевых солей, для разбавления и удаления которых (в Азовское море) требовалось привлечение воды из тех же скважин порядка еще одного расчетного расхода.

Экономические показатели предложенного решения даны в табл. 3.

Такое увеличение себестоимости очищенной воды (сверху уже имеющейся) неприемлемо. Поэтому вторым вариантом стало обессоливание подземной воды методом обратного осмоса на готовой покупной установке (рис. 5).

Для решения по второму варианту был проведен онлайн-поиск обратноосмотических установок на заданную производительность, включающих в себя практически весь комплекс очистных сооружений, кроме сборных баков (Б) и первичного механического фильтра (М).

В результате была выбрана промышленная установка обратного осмоса и мембранный обессоливания серии ZauerROS (Россия) (рис. 6).

Мембранные станции и промышленные системы обратного осмоса серии ZauerROS предназначены для проведения обессоливания воды методом низконапорного обратного осмоса. Все установки

Таблица 3 – Калькуляция увеличения годовой себестоимости воды

| № п/п | Наименование статей расходов | Годовые затраты, тыс. р/м ³ , в ценах 2017 г. |
|-------|---|--|
| 1 | Материалы на умягчение и опреснение | 91 267 |
| 2 | Электроэнергия | 2 818 |
| 3 | Амортизационные отчисления | 689 |
| 4 | Фонд оплаты труда | 292 |
| 5 | Внешексплуатационные расходы | 285,9 |
| 6 | Прочие расходы | 2 390 |
| 7 | Полная себестоимость | 97 740 |
| 8 | Прибыль 10 % | 9 774 |
| 9 | НДС 20 % | 21 502 |
| 10 | Стоимость товарной продукции с учетом НДС | 119 242 |
| 11 | Количество продукции, м ³ /год | 532 · 365 = 194 180 |
| 12 | Себестоимость | 500 |
| 13 | Стоимость для населения, с учетом НДС | 614 |

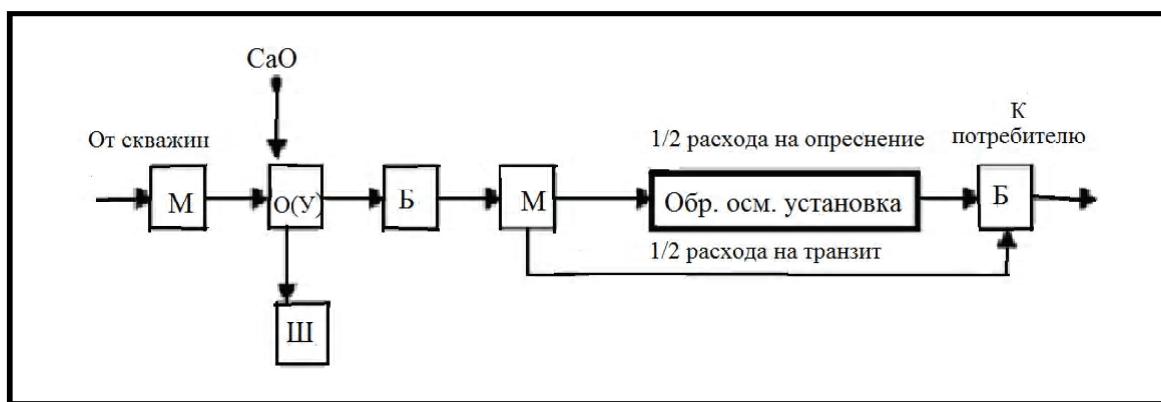


Рисунок 5 – Схема очистных сооружений для пгт Седово с обратноосмотической установкой: М – напорный механический фильтр; О (У) – отстойник-известковый умягчитель; Б – бак с перекачивающими насосами; Ш – шламонакопитель.

снабжены узлом микрофильтрации (тонкость фильтрации 5 мкм), коррозионностойким высоконапорным насосом, стационарными контрольными приборами (кондуктометр, ротаметры/расходомеры, манометры/ преобразователи давления), защитами по сухому ходу и превышению давления, а также контуром подключения блока промывки (запорной арматурой и трубопроводами). В промышленных установках обратного осмоса серий ZauerROS-W и ZauerROS-S в комплект поставки добавлен узел реагентной подготовки воды и блок промывки, оснащенный коррозионностойким промывочным насосом и баком для промывочного раствора.

В обратноосмотических установках в Москве и Санкт-Петербурге используются рулонные мембранные элементы ведущих мировых производителей (Hydranautics, Osmonics, FilmTec и др.) Все соприкасающиеся с водой детали узлов и агрегатов, входящих в комплект установок, выполнены из нержавеющей стали, полимерных или иных материалов пищевого класса. Обвязка промышленных установок обратного осмоса выполнена из ПВХ.

Блокные мембранные обратноосмотические установки серии ZauerROS изготавливаются с заданной производительностью до 200,0 м³/час и более. При выборе мембранных промышленного фильтра обратного осмоса в обязательном порядке следует учитывать качество исходной воды и требования к очищенной воде. Для увеличения срока службы мембранных элементов рекомендуется использовать промышленное обратноосмотическое оборудование предварительной подготовки, состав которого определяется технологом согласно качеству исходной воды. Цена договорная.

По данным онлайн, установка с аналогичными параметрами, применяемая в Украине, стоит 2,058 млн грн.

Требования к качеству исходной воды:

Температура 5...35 °C;



Рисунок 6 – Обратноосмотическая установка большой производительности (Россия).

Мутность не более 1 ЕМФ (0,56 мг/л);

Содержание железа не более 0,1 мг/л.

Наличие в исходной воде нефтепродуктов, микробиологических загрязнений, а также активного хлора или иных сильных окислителей – не допускается.

* При соблюдении условий срок службы мембранных элементов обратноосмотического оборудования не менее трех лет.

Таким образом, можно приобрести одну рабочую установку на всю расчетную производительность для ПГТ Седово и опреснить до любого количества остаточных солей (по согласованию с санитарными органами с соответствующими компетенциями).

Экономические показатели предложенного решения даны в табл. 4.

Использование обратноосмотической установки на 100%-ный расход будет не столь выгодным, поскольку она дороже стоит (выше «стоимость материалов», а по себестоимости продукции, получается, обойдется более, чем вдвое дороже (расчетное «количество продукции, м³ /год» будет вдвое меньшим).

Таким образом, в результате поисков и расчетов разработана технологическая схема обработки подземной воды, характерной для Юга Донецкой области, на примере артезианской скважинной воды пгт Седово. Себестоимость воды для населения увеличится с 15,3 до 50,5 руб. за 1 м³, но это будет вода питьевого качества, какая в существующую систему водоснабжения еще никогда не подавалась.

ВЫВОДЫ

1. Существующие технологии водоочистки позволяют более широкий выбор водоисточника, обеспечивая большую степень очистки воды различными методами, ранее не применяемыми в практике питьевого водоснабжения.

2. Эффективность принятого технологического решения определяется его экономической стоимостью, простотой исполнения и надежностью эксплуатации.

3. Исследованные условия позволили предложить вариант усовершенствованной системы водоснабжения для поселка Седово и других потребителей. Стоимость воды для населения увеличится в 2,3 раза, но это будет вода питьевого качества, безопасная для здоровья, поскольку соответствует нормативам на питьевую воду.

Таблица 4 – Калькуляция увеличения годовой себестоимости воды при обработке обратным осмосом

| № п/п | Наименование статей расходов | Годовые затраты, тыс. руб., в ценах 2017 г. |
|-------|--|---|
| 1 | Материалы на умягчение и опреснение (стоимость эксплуатации одной рабочей установки) | 6 116 |
| 2 | Электроэнергия | 2 818 |
| 3 | Амортизационные отчисления | 1 835 |
| 4 | Фонд оплаты труда | 292 |
| 5 | Внексплуатационные расходы | 15,7 |
| 6 | Прочие расходы | 131,4 |
| 7 | Полная себестоимость | 11 208 |
| 8 | Прибыль 10 % | 1121 |
| 9 | НДС 20 % | 2 466 |
| 10 | Стоимость товарной продукции с учетом НДС | 13 674 |
| 11 | Количество продукции, $\text{м}^3/\text{год}$ | $532 \cdot 365 \cdot 2 = 19\,4180 \cdot 2 = 388\,360^{***}$ |
| 12 | Себестоимость | 28,8 |
| 13 | Стоимость для населения, с учетом НДС | 35,2 |
| 14 | Стоимость воды для населения на данный момент | 15,3 |
| 15 | Стоимость воды для населения при внедрении данного проекта опреснения | 50,5 |
| 16 | Увеличение стоимости воды, раз | 2,3 |

*****Примечание.** В строке «Количество продукции» берется двойная производительность обратноосмотической установки с учетом того, что обрабатывается только около 50 % исходной подземной воды, а остальная часть идет на смешение с обработанной (почти до нулевого солесодержания) и потом уже результат смешения с солесодержанием не более 1 000 мг/л всех солей поступает в сеть потребителей.

4. Экологическая безопасность предложенной технологии опреснения и умягчения воды обратноосмотической установкой обусловлена по всем нормативным направлениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий, С. П. Очистка, конденционирование и использование вод повышенной минерализации [Текст] : монография / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько. – Донецк : «Каштан», 2014. – 316 с.
2. Гребёнкин, С. С. Физико-химические основы технологии осветления и обеззараживания шахтных вод [Текст] / С. С. Гребёнкин, В. К. Костенко, Е. С. Матлак и др. – Донецк : «ВИК», 2009. – 438 с.
3. Куликова, О. Н. Результаты очистки питьевой воды вымораживанием в бытовых условиях [Текст] / О. Н. Куликова, А. П. Толстопят, Л. А. Флеер // III Всеукраинская научно-практическая конференция «Современная техника очистки воды» : тезисы докладов. – Днепропетровск : «Пороги», 1997. – С. 71–73.
4. Слесаренко, В. Н. Современные методы опреснения морских и соленых вод [Текст] / В. Н. Слесаренко. – М. : Энергия, 1973. – 150 с.
5. Sikora, J. Case Study: Desalination of Coal Mine Drainage for water Reuse and Salt Production [Текст] / J. Sikora, K. Szyndler, R. Ludlum, B. Ericson. – 2010. – Р. 413–421.

Получено 09.10.2018

О. І. БАЛІНЧЕНКО ^a, Д. М. МАНДРИКІН ^b
ПОЛІПШЕННЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ СМТ СЕДОВЕ
^a ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
^b Комунальне підприємство «Компанія "Вода Донбасу"»

Анотація. У даній статті представлені рекомендації щодо поліпшення водопостачання Півдня Донецького регіону за даними складу води смт Седове. Вивчені проблеми, які пов’язані з постійним дефіцитом водних ресурсів в цих місцях і вимагають невідкладного та науково обґрунтованого рішення. Можливі варіанти схем водопостачання запропоновані дані з урахуванням нових технологій, економії води, а також необхідностю дбайливого ставлення до екології регіону. Автори намітили декілька можливих технологій опріснення та пом’якшення підземної води з існуючих артезіанських свердловин, які до цих пір подавали тільки воду непитної якості. На основі проведених пошуків і розрахунків було рекомендовано оптимальний варіант отримання води питної якості для реалізації фахівцями.

Ключові слова: опріснення води, електродіаліз, зворотний осмос або гіперфільтрація, дистиляція.

OKSANA BALYNCHENKO ^a, DMITRY MANDRYKYN ^b
IMPROVEMENT OF THE SETTLEMENT OF CITY TYPE SEDOVO WATER
SYSTEM

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b A communal enterprise
«Water of Donbas»

Abstract. Recommendations on the improvement of water-supply of South of the Donetsk region from data of composition of the Settlement of city type Sedovo water are represented in this article. Studied problems are related to the permanent deficit of water resources in these places and require the urgent and scientifically grounded decision. The possible variants of charts of water-supply are given taking into account new technologies, economy of water, and also with the necessity of careful attitude toward ecology of region. Authors set a few possible technologies of desalination and to do water of soft of underground water from existent artesian mining holes which until now gave water of undrinkable quality only. On the basis of the conducted searches and calculations the optimum variant of receipt of water of drinkable quality for realization to the specialists was recommended.

Key words: desalination of water, electro-dialysis, reverse osmose or hyperfiltration, distillation.

Балинченко Оксана Йосифовна – 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.

Мандрыкин Дмитрий Николаевич – начальник отдела водоснабжения коммунального предприятия «Компания "Вода Донбасса"». Научные интересы: усовершенствование систем водоснабжения.

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

Мандрикін Дмитро Миколайович – начальник відділу водопостачання комунального підприємства «Компанія "Вода Донбасу"». Наукові інтереси: удосконалення систем водопостачання.

Balynchenko Oksana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: corrosion and water supply system protection, scaling screen of pipelines, electrochemical methods of water treatment and purification.

Dmitry Mandrykyn – the head of the Water Supply Department, A communal enterprise «Water of Donbas». Scientific interests: improvement of water supply systems.

УДК 621.643.03; 624.042

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

^а ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ», ^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

РАССТАНОВКА НЕПОДВИЖНЫХ ОПОР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ НА ЭСТАКАДАХ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос расстановки неподвижных опор при надземной прокладке трубопроводов водоснабжения и канализации. Ввиду отсутствия рекомендаций для проектирования водоводов на эстакадах выполнен сравнительный расчет с надземными теплотрассами. Полученные данные показывают необходимость проведения дальнейших исследований для рекомендации норм и правил проектирования надземных трубопроводов систем ВК.

Ключевые слова: надземная прокладка трубопроводов, эстакады, неподвижные опоры, проектирование систем ВК в особых условиях.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

В особых условиях напорные трубопроводы водоснабжения и водоотведения (ВК) рекомендуется прокладывать на эстакадах [3]. Для эффективного проектирования водоводов на эстакаде важно не только назначить маршрут и выбрать ее конфигурацию, но также решить вопрос расстановки опор под трубопроводы. Особое влияние на работу трубопроводов, а также на подбор сортамента металлоконструкций имеет расстановка неподвижных опор. Неподвижные опоры являются одним из важнейших конструкционных элементов сетей, лежащих на эстакаде. Они разделяют водоводы на отдельные участки, независимые друг от друга в восприятии различного вида усилий и размещаются между компенсаторами или участками трубопроводов с естественной компенсацией температурных удлинений [4, 8]. При их грамотной расстановке можно правильно распределить усилия в местах фиксации, возникающие в результате температурных деформаций и внутреннего давления, а также создать оптимальный режим работы трубопровода, при котором будут полностью отсутствовать аварии, вызванные температурными удлинениями.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время очень мало сведений по прокладке трубопроводов водоснабжения и водоотведения на эстакаде, поэтому при их проектировании инженеры зачастую используют литературу и рекомендации для прокладки трубопроводов теплоснабжения. Практика показывает, что это не совсем корректно, потому что возникающие усилия при температурных деформациях трубопроводов для водоводов и теплотрассы имеют существенные различия.

Исключительно важное значение при проектировании стальных трубопроводов имеет компенсация температурных деформаций. Если она отсутствует, то при сильном нагревании в стенке трубопровода могут возникнуть большие разрушающие напряжения [2]. Значения этих напряжений может быть рассчитано по закону Гука.

$$\sigma = E \cdot i, \quad (1)$$

где E – модуль продольной упругости, кПа (для стали $E = 2 \cdot 10^8$ кПа);
 i – относительная деформация.

Если участок трубопровода защемлен (без компенсаторов), то при повышении температуры он не удлиняется. При этом напряжение сжатия, возникающее в стальной трубе при нагреве прямолинейного защемленного участка трубопровода:

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного удлинения, $1/K$ (для стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} 1/K$);
 Δt – разность температур, K .

Как видно из формулы (2), напряжение сжатия, возникающее в защемленном состоянии, зависит только от материала трубопровода (модуля упругости, коэффициента линейного удлинения) и перепада температур [2]. Следовательно, можно предположить, что при одинаковом материале труб напряжения, возникающие в трубопроводах ВК, будут меньше, чем в сетях теплоснабжения, т. к. разница температур Δt перекачиваемых сред для систем водоснабжения всегда меньше. При меньших напряжениях количество компенсаторов уменьшается, а участки между ними увеличиваются и применение рекомендаций для проектирования сетей теплоснабжения при прокладке трубопроводов ВК влечет за собой нерациональное использование ресурсов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Сравнить расстояние между неподвижными опорами сетей водоснабжения и теплоснабжения при одинаковых условиях прокладки. Расчетом показать важность и необходимость проведения исследований для рекомендации норм и правил проектирования надземных трубопроводов систем ВК.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Неподвижные опоры предусматриваются на трубопроводах при всех способах прокладки тепловых сетей. При проектировании трубопроводов теплоснабжения температура перекачиваемой среды может достигать $t = 100 \dots 150 ^\circ C$ [1]. Для сетей водоснабжения, а также большинства трубопроводов канализации, такая температура не является рабочей, поэтому расчеты произведены для $t = 5 \dots 20 ^\circ C$.

Для расчета были приняты аналогичные материал и размеры компенсатора для трубопроводов теплоснабжения (Т) и водоснабжения и канализации (ВК). Материал трубы – сталь 09Г2С, толщина стенки трубопровода при $\varnothing 89$ мм – 4 мм, при $\varnothing 108$ мм – 4 мм, при $\varnothing 159$ мм – 5 мм, при $\varnothing 219$ мм – 6 мм.

Для расчета трубопроводов в данной статье была использована программа СТАРТ (ООО «НТП Трубопровод», г. Москва). В указанной программе рассчитываются как самокомпенсирующиеся трубопроводы, в которых компенсация температурных расширений обеспечивается гибкостью самой трубопроводной трассы, так и трубопроводы со специальными компенсирующими устройствами, выполненными в виде сильфонных, линзовых, сальниковых и других видов компенсаторов [5, 6].

В ПО СТАРТ выполнен расчет участка с компенсатором для теплотрассы и водоводов с целью сравнения и уточнения допустимого расстояния между неподвижными опорами. Сравнение предлагается проводить по нескольким критериям: силы, возникающей вдоль глобальных осей, напряжения от всех воздействий в рабочем состоянии и перемещения самого трубопровода. Для систем теплоснабжения расстояния между неподвижными опорами рекомендованы в справочной литературе [1], а для систем водоснабжения оптимальные расстояния будут приняты по результатам расчета в ПО СТАРТ. Расчет сил, действующих вдоль глобальных осей, для различных диаметров трубопровода приведены в таблице 1.

По данным, приведенным в таблице 1, оптимальные расстояния между неподвижными опорами приняты в результате сравнения сил, действующих вдоль глобальных осей, в трубопроводах водоснабжения и теплоснабжения. Оптимальными для сети водоснабжения приняты расстояния, для которых значения действующих сил одинаковы или близки по значению с силами аналогичного участка сети теплоснабжения. Схема расчетного участка приведена на рисунке.

Также в ПО СТАРТ проверены расчетные напряжения от всех воздействий в рабочем состоянии трубопровода для выбранных длин участков. Расчет приведен в таблице 2.

Расчет перемещений трубопровода вдоль глобальной оси для выбранных расстояний между неподвижными опорами приведен в таблице 3.

Сравнение расстояний между неподвижными опорами для различных диаметров трубопроводов теплоснабжения и водоснабжения приведены в таблице 4.

Таблица 1 – Расчет сил, действующих на неподвижную опору и расстояния между ними

| Участок сети | Силы вдоль глобальных осей (кгс)max | | | Моменты вокруг глобальных осей (кгс·см)max | | | Расстояние между неподвижными опорами, L (м) |
|--------------------------------|---|-----|-------|--|----------|-------|---|
| | x | y | z | x | y | z | |
| Неподвижная опора 1-2(Т)Ø89 | 563,3 | 0,2 | 78,1 | 0,13 | 7 808,61 | 14,52 | 77 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø89 | 500,1 | 0 | 78,1 | 0,1 | 7 809,81 | 0,06 | 101 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК)Ø89 | 550,3 | 0 | 78,1 | 38,56 | 7 809,97 | 0,08 | 110 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø89 | 560 | 0 | 78,1 | 0,09 | 7 809,93 | 0,06 | 113 |
| Неподвижная опора 1-2(Т) Ø108 | 529,8 | 0,1 | 92,5 | 10,09 | 9 245,82 | 36,11 | 78 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø108 | 470,8 | 0 | 92,5 | 8,76 | 9 247,57 | 1,27 | 102 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø108 | 512,9 | 0 | 92,5 | 8,78 | 9 247,62 | 0,9 | 110 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø108 | 535,3 | 0 | 95,2 | 7,73 | 9 247,1 | 0,58 | 114 |
| Неподвижная опора 1-2(Т) Ø159 | 1356 | 0,4 | 149,9 | 120,2 | 14 992,7 | 258,0 | 100 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø159 | 942,3 | 0 | 149,9 | 120,2 | 14 992,7 | 12,36 | 112 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø159 | 1 056 | 0 | 149,9 | 107,4 | 14 993,2 | 1,39 | 124 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø159 | 1 169 | 0 | 149,9 | 97,11 | 14 993,7 | 2,54 | 136 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø159 | 1 283,4 | 0 | 149,9 | 88,6 | 14 993,1 | 1,39 | 148 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø159 | 1 297 | 0 | 149,9 | 1,50 | 14 993,1 | 1,17 | 150 |
| Неподвижная опора 1-2(ВК) Ø159 | 1 396,4 | 0 | 149,9 | 81,47 | 14 993,1 | 0,24 | 160 |

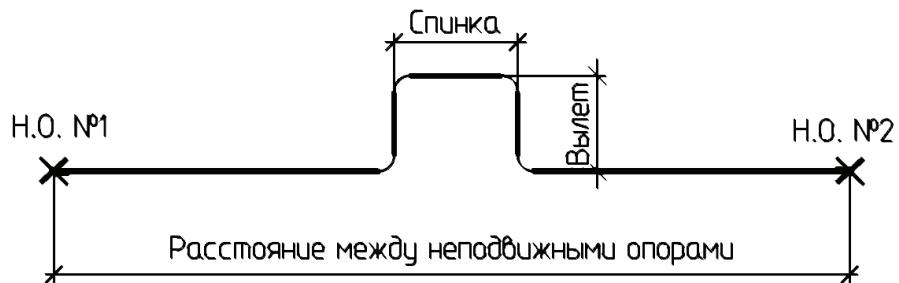


Рисунок – Расчетный участок с П-образным компенсатором: Н.О. № 1 – неподвижная опора № 1; Н.О. № 2 – неподвижная опора № 2.

Таблица 2 – Проверка напряжений для различных длин участков между неподвижными опорами

| Элемент | Напряжения от всех воздействий в рабочем состоянии, (кгс/кв.см) | | Размах напряжений | |
|------------------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Расчетное max | Допустимое max | Расчетное max | Допустимое max |
| Трубопровод 1-2(Т) Ø89 (L= 77) | 1 955,5 | 2 400 | 1 836,73 | 5 100 |
| Трубопровод 1-2(ВК) Ø89 (L = 110) | 901,11 | 2 700 | 825,73 | 5 400 |
| Трубопровод 1-2(Т) Ø108 (L = 78) | 1 121,1 | 2 400 | 1 067,14 | 5 100 |
| Трубопровод 1-2(ВК) Ø108 (L = 110) | 467,33 | 2 700 | 434,73 | 5 400 |
| Трубопровод 1-2(Т) Ø159 (L = 100) | 1 390,79 | 2 400 | 1 321,72 | 5 400 |
| Трубопровод 1-2(ВК) Ø159 (L = 150) | 629,48 | 2 700 | 585,45 | 5 400 |

Стоит отметить, что при одинаковых силах вдоль оси x перемещения трубопроводов водоснабжения на 50...60 % меньше. Это немаловажный фактор, который может повлиять на выбор расстояния между трубопроводами, которые прокладываются рядом.

Как видно из расчетов, расстояния между неподвижными опорами для трубопроводов водоснабжения и канализации можно принять в среднем на 30...50 % больше, чем для труб теплоснабжения. Увеличение расстояний между неподвижными опорами приводит к уменьшению количества компенсаторов на сети, а это влечет к экономии строительных материалов, количества фасонных частей и протяженности самого трубопровода. Уменьшение количества фасонных частей трубопровода и

Таблица 3 – Расчет перемещений вдоль глобальной оси для оптимальных расстояний между неподвижными опорами

| Участок сети | Перемещения вдоль глобальной оси, мм max | | | Расстояние между неподвижными опорами L, (м) |
|--|--|------|-----|--|
| | x | y | z | |
| Неподвижная опора 1(Т)89 | 86,3 | 77,1 | 0 | 77 |
| Опора скользящая на участке 1–2 (ВК)89 | 37,4 | 15 | 0,5 | 110 |
| Неподвижная опора 1–2(Т)108 | 86,9 | 46,3 | 0 | 78 |
| Неподвижная опора 1–2(ВК)108 | 33,2 | 10,4 | 0 | 110 |
| Неподвижная опора 1–2(Т)159 | 111,4 | 77,6 | 0 | 100 |
| Неподвижная опора 1–2(ВК)159 | 46,8 | 20,8 | 0 | 150 |

Таблица 4 – Сравнение расстояний между неподвижными опорами сетей тепло- и водоснабжения при использовании П-образных компенсаторов (серия 4.904-66)

| Условный проход труб Dу в мм | Расстояния между неподвижными опорами в м при параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ в кгс/см ² , t в °C | |
|------------------------------|---|--|
| | Трубопроводы теплоснабжения в диапазоне $P_{раб} = 8$ атм, t = 100 °C, $P_{раб} = 16$ атм, t = 150 °C | Трубопроводы водоснабжения в диапазоне $P_{раб} = 8$ атм, t = 5 °C, $P_{раб} = 16$ атм, t = 20 °C |
| 80 | 80 | 110 |
| 100 | 80 | 110 |
| 150 | 100 | 150 |

его протяженности снижает гидравлическое сопротивление сети, что, несомненно, повлияет на подбор насосного агрегата меньшей мощности.

При совместной прокладке на эстакаде трубопроводов различного назначения расстояние между неподвижными опорами принимается по самому невыгодному случаю и обычно назначается меньшим, чем рекомендуется в данной работе. В таких условиях можно предложить использование меньших размеров компенсаторов, благодаря этому на общих эстакадах трубы ВК можно укладывать в первую очередь, чтобы другие трубопроводы описывали их. Так как другие трубопроводы будут описывать трубы ВК, полка компенсатора у них будет больше, следовательно нагрузка на неподвижные опоры будет меньше. В некоторых случаях это может способствовать уменьшению вылета компенсатора.

Дальнейшая разработка норм и рекомендаций по проектированию эстакад для систем водоснабжения и канализации поможет более рациональному использованию материалов, повышению энергоэффективности объектов, сокращению сроков проектирования и строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей [Текст] / Под ред. А. А. Николаева. – М. : [б. и.], 1965. – 359 с.
- Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст] / Е. Я. Соколов. – М. : Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
- Свод правил СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 [Текст]. – Введ. 2013-01-01 / ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИЦ "Строительство"». – М. : Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 124 с.
- Фридман, Я. Х. Неподвижные опоры как объекты надежности в системе теплоснабжения [Электронный ресурс] / Я. Х. Фридман // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 01(01). – Режим доступа : http://www.rostepl.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1485.
- Методическое обеспечение расчета на прочность и назначенного ресурса трубопроводов [Текст] / В. А. Осипов, Д. А. Белов, Я. В. Логвин [и др.] // Наука вчера, сегодня, завтра : сб. ст. по матер. XXXI междунар. науч.-практ. конф. № 2(24). Часть II. – Новосибирск : СиБАК, 2016. – С. 32–42.
- Ванг, Р. Программа СТАРТ приходит на рынок Китая [Текст] / Р. Ванг // CADMASTER. – 2015. – № 3. – С. 76–77.
- Qian, X. L. A survey of pipe routing design [Text] / X. L. Qian, T. Ren, C. E. Wang // Control and Decision Conference : Chinese IEEE. Yantai, Shandong, China, 2-4 July 2008. – PP. 3994–3998.
- Simão, M. Design Criteria for Suspended Pipelines Based on Structural Analysis [Electronic resource] / M. Simão, J. Mora-Rodriguez, H. M. Ramo // Water. – 2016. – № 8(6), 256. – Access mode : <https://doi.org/10.3390/w8060256>.

Получено 10.10.2018

О. С. ПАВЛЮЧЕНКО ^a, Н. І. ГРИГОРЕНКО ^b

РОЗМІЩЕННЯ НЕРУХОМИХ ОПОР ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ
ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА КАНАЛІЗАЦІЇ НА ЕСТАКАДАХ

^a ПАТ «ЮЖНІГІПРОГАЗ», ^b ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглянуто питання розміщення нерухомих опор при надземному прокладанні трубопровідів водопостачання та каналізації. При відсутності рекомендацій для проектування водоводів на естакадах виконано порівняльний розрахунок з надземними теплотрасами. Отримані дані свідчать про необхідність проведення подальших досліджень для рекомендації норм і правил проектування надземних трубопроводів систем ВК.

Ключові слова: надземне прокладання трубопроводів, естакади, нерухомі опори, проектування систем ВК в осібливих умовах.

ALEKSANDR PAVLUCHENKO ^a, NADEZHDA GRIGORENKO ^b

ARRANGEMENT OF FIXED SUPPORTS DURING ABOVEGROUND
INSTALLATION OF THE WATER SUPPLY AND SEWAGE PIPELINES

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

Abstract. The article deals with the issue of positioning of fixed supports in the above-ground laying of water supply and Sewerage pipelines. In view of the lack of recommendations for the design of water pipelines on the overpasses, a comparative calculation with above-ground heating mains was carried out. The data, which was obtained, show the need for further research to recommend the rules and regulations for the design of overhead pipelines of VC systems.

Key words: aboveground installation of pipelines, racks, fixed supports, designing of water supply and sewage systems in special conditions.

Павлюченко Александр Сергеевич – инженер-проектировщик II категории ПАО «ЮЖНИГИПРОГАЗ». Научные интересы: проектирование систем водоснабжения и водоотведения, прокладка инженерных сетей на эстакаде, очистка сточных вод.

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

Павлюченко Олександр Сергійович – інженер-проектувальник II категорії ПАТ «ЮЖНІГІПРОГАЗ». Наукові інтереси: проектування систем водопостачання і водовідведення, прокладка інженерних мереж на естакаді, очищення стічних вод

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

Pavluchenko Aleksandr – Design Engineer Grade II at PJSC «YUZHNIIGIPROGAZ». Scientific interests: design of water supply and water disposal systems, routing of utility networks on racks, wastewater treatment.

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

УДК 628.356.5

М. С. ДЕРЕВЯНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**КОНСТРУКЦИЯ ПИЛОТНОЙ УСТАНОВКИ ТОНКОСЛОЙНОГО
ПУЛЬСАЦИОННОГО ИЛООТДЕЛИТЕЛЯ КОЛОННОГО ТИПА И ЕЁ
ИСПЫТАНИЕ**

Аннотация. Рассмотрены причины нарушения процессов илоотделения активного ила от осветленной сточной жидкости при работе очистных сооружений канализации. Проведен анализ работы подобных сооружений и условий их эксплуатации. Приведена конструкция тонкослойного пульсационного илоотделителя колонного типа, выполнен расчет основных конструктивных элементов. Даны рекомендации по условиям применения установки и приведены особенности её работы в зависимости от таких показателей, как концентрация взвешенных веществ активного ила, число Рейнольдса, иловый индекс.

Ключевые слова: тонкослойный пульсационный илоотделитель, активный ил, число Рейнольдса, иловый индекс.

Уменьшение числа работающих предприятий, как крупных, так и средних, в городах и посёлках за последние годы привело к значительному снижению притока производственных сточных вод на городские канализационные очистные сооружения (КОС).

Эти сооружения, имеющие в своём составе комплексы биологической очистки стоков на основе биоценозов со свободноплавающим активным илом, в большинстве своём вынуждены работать на минимальном пределе имеющихся мощностей. Ввиду этого возникает необходимость о выводе из эксплуатации части старых ёмкостных сооружений (одного или нескольких первичных и вторичных отстойников, секций биофильтров или аэротенков) либо их реконструкции, и даже о создании новых, малогабаритных установок, позволяющих повысить эффективность работы КОС.

Таким образом, проблема по разделению иловой смеси активного ила и осветленной сточной жидкости в процессе работы с минимальными объёмами сооружений становится особо актуальной.

Иловые смеси разделяют, как правило, отстаиванием (гравитационный способ), механическим путём (под действием центробежных сил) либо фильтрованием.

Исходя из опыта работы различного рода сооружений (отстойников и фильтров), близких по принципу действия, например, противоточных илоотделителей и отстойников, работающих со взвешенным слоем осадка [1, 2], как наиболее эффективных, а также с целью объединения особенностей их работы в одном сооружении, было принято решение о создании установки тонкослойного пульсационного илоотделителя колонного типа (ТПИкт) (рис.). Критериями к созданию данной установки послужили требования, предъявляемые к габаритным размерам, производительности, качеству очищенных стоков и простоте в эксплуатации.

На сегодняшний день состав сточной жидкости представлен, по большей части, хозяйствственно-бытовыми стоками и основным фактором, влияющим на совместную работу аэротенков и илоотделителей, является свободноплавающий низконагруженный, а для многоступенчатых систем и нитри-денитрифицирующий активный ил и его свойства.

Закладываемые в расчёты размеры будущей конструкции принимались исходя из параметров гидравлической крупности частиц в пределах 0,5...0,6 мм/с, илового индекса в пределах 90...110 см³/г, нагрузки на зеркало воды – до 2 м³/(м²·ч).

Установка (рис.) состояла из следующих элементов:

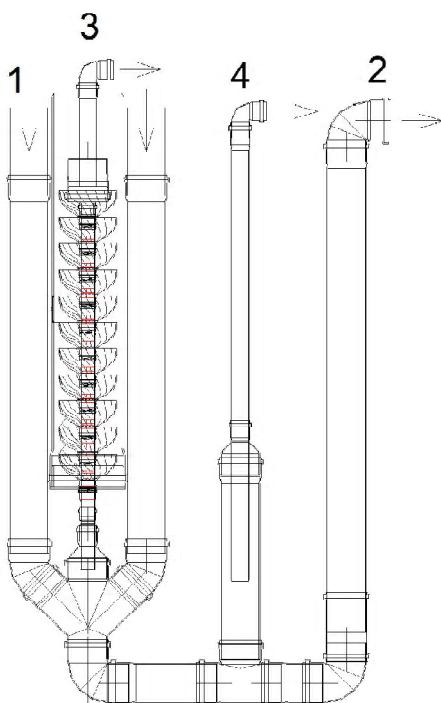


Рисунок – Установка тонкослойного пульсационного илоотделителя колонного типа: 1 – подача иловой смеси из аэротенка; 2 – труба эрлифта для удаления рециркуляционного активного ила; 3 – тонкослойный блок. Труба эрлифта, отводящего очищенную сточную жидкость; 4 – пульсатор.

Эрлифтом, расположенным в трубе для удаления рециркуляционного активного ила 2, создавалось и поддерживалось равновесное взвешенное состояние активного ила на входе в межполочное пространство тонкослойного блока. Причём работа обоих эрлифтов синхронизировалась таким образом, чтобы не позволять взвешенному слою значительно расширяться и не допустить выноса взвешенных частиц в очищенную воду.

Таким образом, поддерживалась скорость восходящего потока в пределах величины гидравлической крупности U_o , обеспечивающей выделение в осадок иловых частиц до их остаточной концентрации на уровне 5...7 мг/л в осветленной воде, и была принята равной 0,5 мм/с. Принимая во внимание влияние на процессы илоотделения числа Рейнольдса, рекомендуемые величины которого в разных источниках [6, 7, 8] должны находиться в пределах 150–250, а v – кинематическая вязкость иловых частиц 1,0...1,5 мм²/с, в интервале температур 12...22 °C, то скорость потока будет составлять $V = 5$ мм/с, из равенства:

$$Re = V \cdot h / v, \quad (1)$$

где Re – число Рейнольдса,

h – высота межполочного пространства равная 50 мм.

При этом соотношении размеров полок и площади зеркала воды в тонкослойном отстойнике нагрузка (f) на зеркало воды (F) составит

$$f = 3,6 \cdot K_{set} \cdot V \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где K_{set} – коэффициент использования объёма.

$$f = 3,6 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 0,866 = 7,79 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

что в несколько раз выше, чем в радиальных отстойниках.

Концентрация подаваемого на установку активного ила в процессе экспериментов варьировалась от 1,26 до 3,7 г/л, а расход от 0,4 до 1 м³/ч. При этом были получены значения концентраций в осветлённой воде от 6 до 34 мг/л, причём большие значения – при больших расходах.

Для предотвращения образования застойных зон или налипания частиц активного ила на корпус и межполочном пространстве тонкослойного блока 3 проводилась их регенерация 1 раз в неделю посредством «стряхивания» прикрепившихся частиц резким понижением уровня на 10...12 см в течение 3...4 секунд посредством срабатывания бака пульсатора 4.

Работа пульсатора и эрлифтов, отводящих очищенную сточную жидкость и уплотнённый возвратный активный ил, осуществлялась с использованием сжатого воздуха, подаваемого из воздуховодов секций аэротенков.

ВЫВОДЫ

1. Все компоненты установки могут быть выполнены из стандартных материалов, что позволяет унифицировать её производство.
2. Преимуществом тонкослойных илоотделителей данного типа является сокращение продолжительности пребывания иловой смеси за пределами аэрируемой зоны, уменьшение объёма сооружений и гарантия стабильного уровня качества осветляемой сточной жидкости.
3. Для очистных сооружений канализации малой производительности целесообразно использование тонкослойных противоточных илоотделителей колонного типа в качестве вторичных отстойников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий [Текст] / Под общ. ред. В. Н. Самохина. – М. : Стройиздат, 1981. – 632 с.
2. Проектирование сооружений для очистки сточных вод [Текст] : справочное пособие к СНиП 2.04.03-85. – Введ. 1990-01-01 / ВНИИ ВОДГЕО. – М. : Стройиздат, 1990. – 65 с.
3. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди [Текст]. – Уведено вперше на заміну СНиП 2.04.03-85. – Чинні від 2014-01-01 / УкрНДІводоканалпроект. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 96 с. (Основні положення проектування).
4. Куликов, Н. И. Реконструкция работы городских канализационных очистных сооружений в целях интенсификации их работы с применением тонкослойных пульсационных илоотделителей в системе глубокой биологической очистки сточных вод [Текст] / Н. И. Куликов, М. С. Деревянко, В. И. Нездойминов // Водопостачання та водовідведення. Виробничо-практичний журнал. – 2008. – Вип. 4. – С. 37–40.
5. Химия. Большая Российская Энциклопедия [Текст] / гл. ред. И. Л. Кнуянц. – М. : Большая Российская энцикл., 1998. – 418 с.
6. Новый справочник химика и технолога: Процессы и аппараты химических технологий [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 / Г. М. Островский [и др.] ; ред. Г. М. Островский. – СПб. : Профессионал, 2007. – 916 с.
7. Булгакова, О. В. Физико-химические основы осветления воды в тонкослойных отстойниках [Текст] / О. В. Булгакова // Коммунальное хозяйство городов: Науч. техн. сб. – К. : Техніка, 2010. – Вип. 93. – С. 329–333.
8. Батман, А. В. Радиальные и тонкослойные сгустители в обогащении руд [Текст] / А. В. Бауман // Цветные металлы-2013 : сборник докладов, г. Красноярск, 2–4 сентября 2013 г. – Красноярск : Версо, 2013. – 692 с. – С. 106–111.

Получено 11.10.2018

М. С. ДЕРЕВ'ЯНКО
КОНСТРУКЦІЯ ПЛОННОЇ УСТАНОВКИ ТОНКОШАРОВОГО
ПУЛЬСАЦІЙНОГО МУЛОВІДДІЛЮВАЧА КОЛОННОГО ТИПУ ТА ЇЇ
ВИПРОБУВАННЯ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Розглянуто причини порушення процесів муловідокремлювання активного мулу від освітленої стічної рідини при роботі очисних споруд каналізації. Проведено аналіз роботи подібних споруд і умов їх експлуатації. Наведено конструкцію тонкошарового пульсацийного муловідділювача колонного типу, виконано розрахунок основних конструктивних елементів. Дано рекомендації щодо умов застосування установки і наведено особливості її роботи залежно від таких показників, як: концентрація зважених речовин активного мулу, число Рейнольдса, муловий індекс.

Ключові слова: тонкошаровий пульсацийний муловідділювач, активний мул, число Рейнольдса, муловий індекс.

MIKHAIL DEREVYANKO

CONSTRUCTION OF THE PILOT INSTALLATION OF THE THIN-LAYER
PULSATING SLUDGE SEPARATOR OF THE COLUMN-TYPE AND ITS TEST
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Reasons of active sludge separation processes violation are considered from during work of sewage treatment plants of the sewage system. The analysis of similar facilities work and their external environments is conducted. A construction of thin-layer pulsation sludge separator (column type) is brought; the calculation of basic structural elements is executed. Recommendation on the terms of application setting and features of her work are brought depending on such indexes, as a concentration of the self-weighted substances of active sludge, number of Reynolds, sludge index.

Key words: thin-layer modules with pulsation, active sludge, Reynolds's number, sludge index.

Деревянко Михаил Сергеевич – асистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: реконструкция и интенсификация работы очистных сооружений канализации с использованием тонкослойных пульсационных илоотделителей.

Дерев'янко Михайло Сергійович – асистент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: реконструкція та інтенсифікація роботи очисних споруд каналізації з використанням тонкошарових пульсаційних муловідділювачів

Mikhail Derevyanko – assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reconstruction and intensifications of work the treatment facilities of the sewerage with use of thin-layer modules with pulsation.

УДК 331.464

Д. А. ДОСТОВАЛОВА, Н. С. ПОДГОРОДЕЦКИЙ, Л. В. НИКОЛАЕВА
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА И
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В ДОНЕЦКОЙ
НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ ЗА 6 МЕСЯЦЕВ 2018 ГОДА**

Аннотация. Приведены результаты анализа производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в ДНР за 6 месяцев 2018 года. Выполнено сравнение видов экономической деятельности по травмоопасности. Рассмотрены виды события и причины несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. Предложены мероприятия по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в ДНР.

Ключевые слова: производственный травматизм, несчастный случай, производственная травма, профессиональное заболевание.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В соответствии с флагманской программой Международной Организации Труда «Охрана труда – глобальные действия в целях профилактики» (OSH GAP) [1], улучшение охраны труда в мире предполагается в том числе и путем проведения исследований с целью составить более ясное представление о факторах, препятствующих и способствующих эффективной профилактике в области охраны труда.

Исследование травмоопасности по видам экономической деятельности, видов события и причин несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в сочетании с действиями, направленными на создание культуры профилактики, позволит обеспечить надежные и безопасные условия труда на предприятиях Республики.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Американские ученые Бейкер, Дженкинс и Смит в своей статье «Принципы профилактики, подход общественного здравоохранения к снижению травматизма на рабочем месте» [2] отмечают, что выявление групп работников повышенного риска и групп травм, встречающихся с наибольшей частотой, позволяют в дальнейшем обеспечить контроль и своевременную профилактику несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Сотрудники Службы гигиены труда и Центра первичной медико-санитарной помощи г. Казин Боснии и Герцеговины Н. Семаловик, С. Росик и Н. Торомановик в своей научной работе «Анализ причин производственного травматизма и применение профилактических мер» [3] утверждают, что существенное влияние на уровень производственного травматизма оказывают возраст работника и отрасль промышленности, к которой относится предприятие.

ЦЕЛЬ

Анализ состояния производственного травматизма и профессиональной заболеваемости по видам экономической деятельности, видам события и причинам. Разработка мероприятий по предотвращению несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Анализируя структуру несчастных случаев на производстве Донецкой Народной Республики за 6 месяцев 2018 г. [4], которая в большей части зависит от видов экономической деятельности, следует отметить, что самой травмоопасной отраслью экономики является добывающая промышленность (рис. 1).

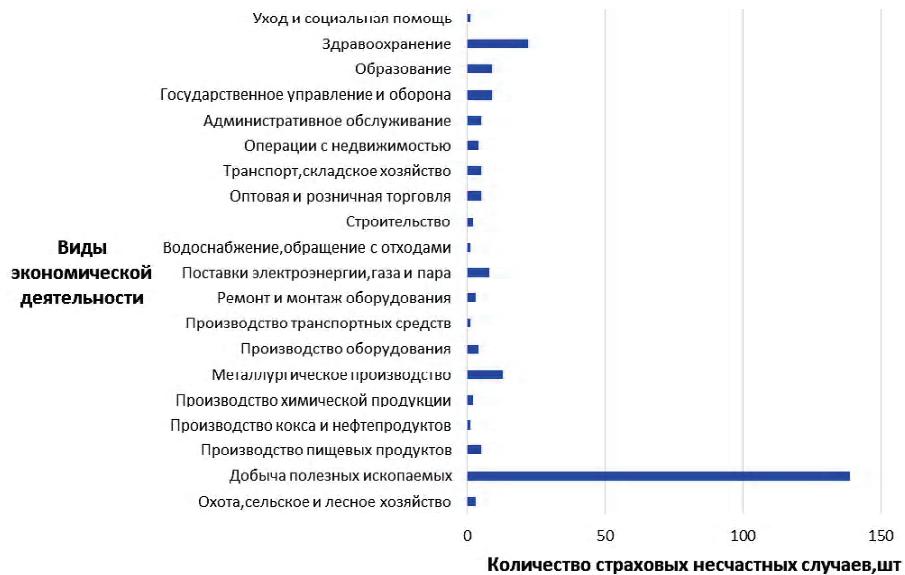


Рисунок 1 – Распределение видов экономической деятельности по количеству страхованных несчастных случаев.

На рисунке 2 представлено распределение видов экономической деятельности по количеству пострадавших за 6 месяцев 2018 года.

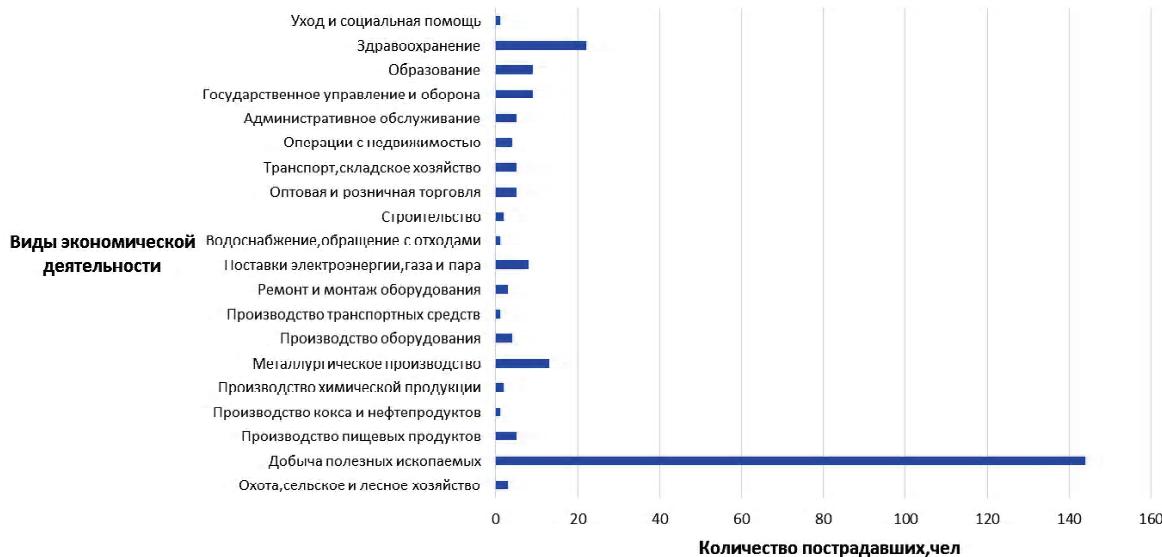


Рисунок 2 – Распределение видов экономической деятельности по количеству пострадавших.

Из общего количества страхованных случаев 57 % (138 случаев) приходится на предприятия добывающей промышленности; пострадало 143 человека, в том числе смертельно – 11 человек.

По количеству несчастных случаев со смертельным исходом выделяются такие отрасли экономики как: поставка электроэнергии, газа, пара и кондиционированного воздуха (2 человека), а также транспорт, складское хозяйство, строительство, производство химической продукции, производство кокса и нефтепродуктов – по одному человеку (рис. 3).



Рисунок 3 – Распределение видов экономической деятельности по количеству пострадавших со смертельным исходом.

По виду события преобладающее количество несчастных случаев произошло в результате (рис. 4):

– падение пострадавшего – 85 несчастных случаев (35,1 %), из них – 74 несчастных случая произошли во время передвижения пострадавшего. На работников добывающей промышленности приходится 32 и 26 несчастных случаев соответственно;

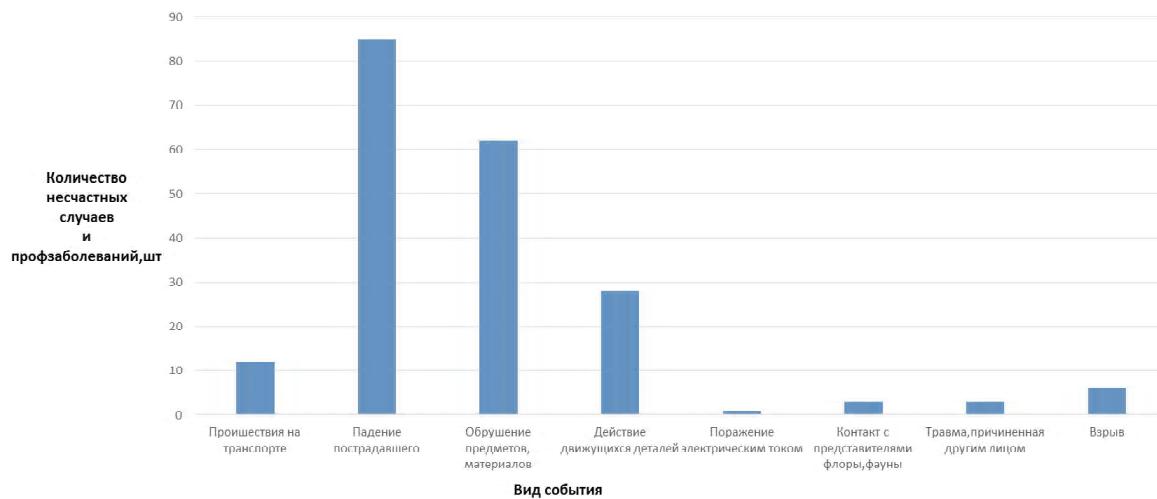


Рисунок 4 – Распределение несчастных случаев и профессиональных заболеваний по виду события.

– падение, обрушение, обвал предметов, материалов, породы, грунта – 62 несчастных случая (25,6 %), в том числе наибольшее количество приходится на обвал и обрушение породы, грунта и т. п. (38 несчастных случаев). При подземной добыче каменного угля – 55 и 38 несчастных случаев соответственно;

– действие движущихся, разлетающихся и врачающихся предметов и деталей – 28 несчастных случаев (11,6 %).

Среди причин несчастных случаев преобладают организационные – 162 пострадавших (65,6 % от общего количества травмированных лиц) (рис. 5).

При этом наиболее распространенными организационными причинами являются:

– нарушение трудовой и производственной дисциплины – 137 человек (55,5 % от общего количества травмированных лиц), в том числе невыполнение требований инструкций по охране труда – 115 человек;

– нарушение технологического процесса – 10 человек (4,1 % от общего количества травмированных лиц);

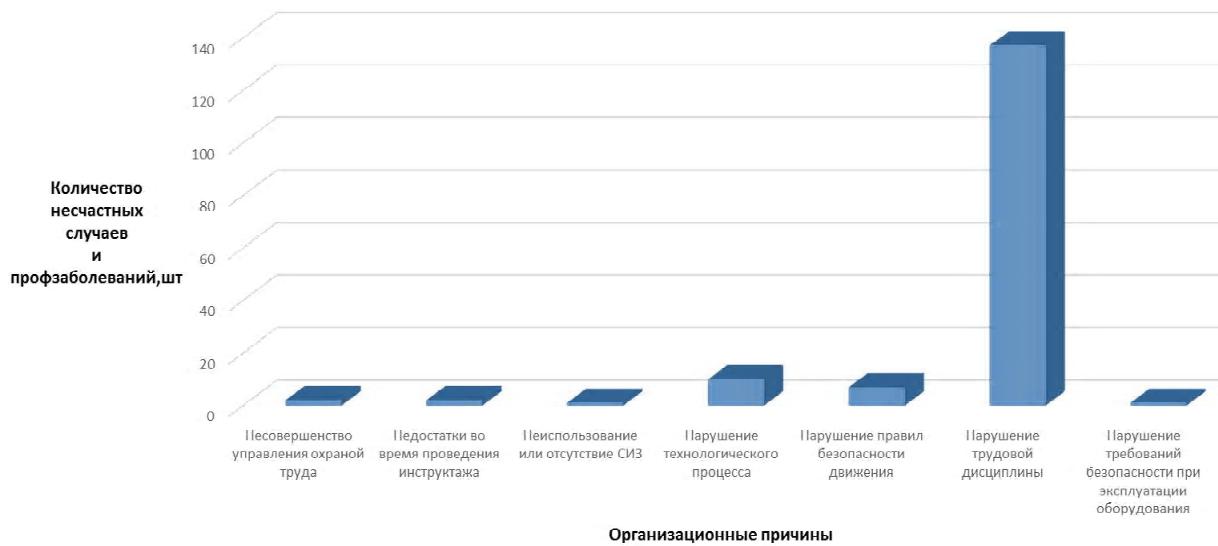


Рисунок 5 – Распределение несчастных случаев и профессиональных заболеваний по организационным причинам.

– нарушение правил безопасности движения – 7 человек (2,8 % от общего количества травмированных лиц).

По техническим причинам пострадало 28 человек (11,3 % от общего количества травмированных лиц) (рис. 6). Наиболее распространенной технической причиной является неудовлетворительное техническое состояние производственных объектов, средств производства, транспортных средств, травмировалось 12 человек (4,9 % от общего количества травмированных лиц), в том числе 7 человек при подземной добыче каменного угля.

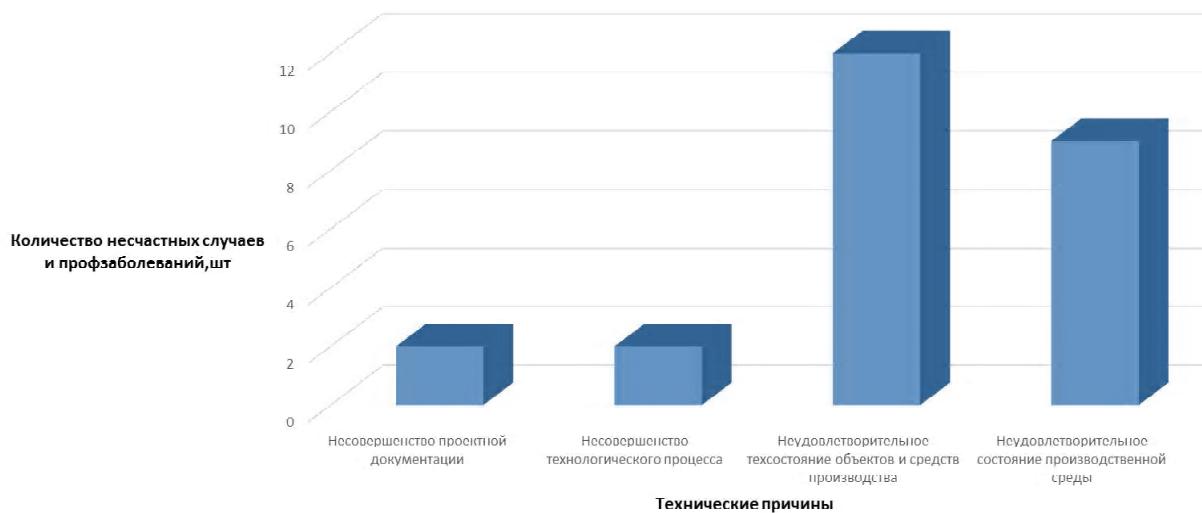


Рисунок 6 – Распределение несчастных случаев и профессиональных заболеваний по техническим причинам.

По психофизиологическим причинам пострадало 57 человек (23,1 % от общего количества травмированных лиц) (рис. 7), при этом большая часть несчастных случаев произошла по личной неосторожности пострадавшего – 48 человек (19,4 % от общего количества травмированных лиц).

ВЫВОДЫ

В результате анализа несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в Донецкой Народной Республике за 6 месяцев 2018 г. выявлено, что наиболее травмоопасной отраслью экономики является добывающая промышленность – 57 % от общего количества страховых несчастных случаев. По количеству несчастных случаев со смертельным исходом, кроме добывающей

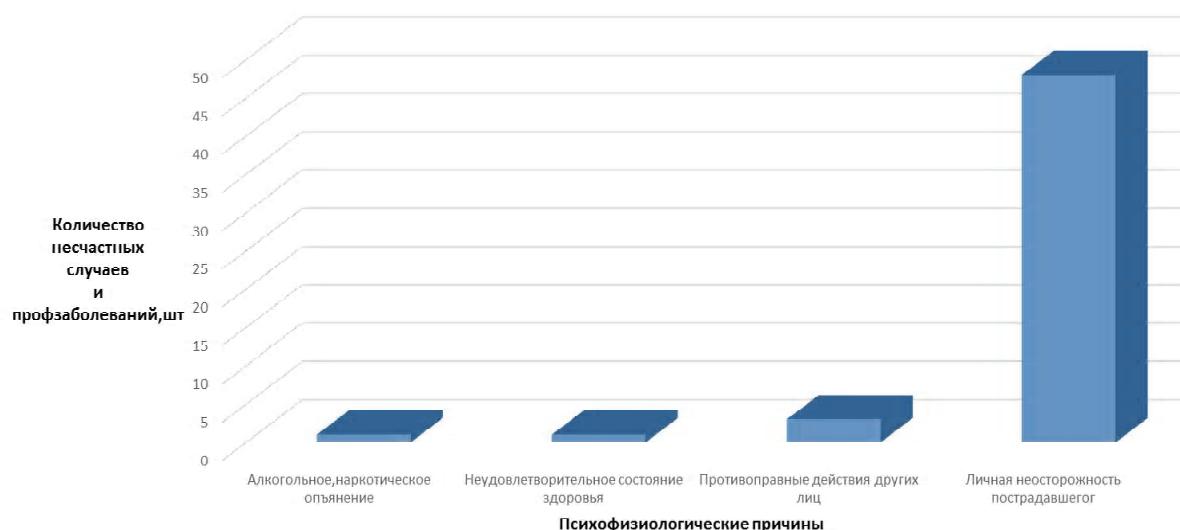


Рисунок 7 – Распределение несчастных случаев и профессиональных заболеваний по психофизиологическим причинам.

промышленности, выделяются такие отрасли экономики, как: поставка электроэнергии, газа, пара и кондиционированного воздуха; транспорт, складское хозяйство; строительство; производство химической продукции; производство кокса и нефтепродуктов. Обращает на себя внимание тот факт, что по виду события преобладающее количество несчастных случаев произошло во время передвижения и в результате падения пострадавшего. Приблизительно две трети несчастных случаев на производстве произошли по организационным причинам.

Для улучшения сложившейся ситуации, предотвращения несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний необходимо:

- уделить особое внимание качественному составу службы охраны труда на предприятиях Республики;
- обеспечить системный подход к управлению охраной труда путем повышения квалификации персонала и увеличения количества специализированных учебных центров в Республике;
- ужесточить контроль за организацией и осуществлением деятельности службы охраны труда предприятий.

Формирующаяся и постоянно развивающаяся система управления охраной труда должна найти пути и методы для предотвращения несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, которые уносят сотни человеческих жизней и наносят большой вред экономике Республики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Labour Organization (ILO) (2018) [Electronic resource] / International Labour Organization // ILO is a specialized agency of the United Nations. – Official webpage ; Electronic data. – 4 route des Morillons, CH-1211, Genève 22, Switzerland, 2018. – Access mode : https://www.ilo.org/safework/info/promo/posters/WCMS_541545/lang--en/index.htm.
2. Gordon, Smith Principles of Prevention: The Public Health Approach to Reducing Injuries in the Workplace [Electronic resource] / Smith Gordon, A. Mark // ILO Encyclopaedia of Occupational Health & Safety // ILO is a specialized agency of the United Nations. – Official webpage ; Electronic data. – 4 route des Morillons, CH-1211, USA, 2018. – Access mode : <http://www.iloencyclopaedia.org/part-viii-12633/accident-prevention/56/principles-of-prevention-the-public-health-approach-to-reducing-injuries-in-the-workplace>.
3. Cemalovic, Nermina Analysis of the causes of occupational injuries and application of preventive measures [Electronic resource] / Nermina Cemalovic, Semso Rosic, and Nermin Toromanovic // Mater Sociomed. – Cazin, Bosnia and Herzegovina, 2018. – Access mode : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4789624/>.
4. Профилактика несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний [Электронный ресурс] : Анализ состояния производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на предприятиях, в организациях и учреждениях Донецкой Народной Республики за 9 месяцев 2017 и 2018 годов // Фонд социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний Донецкой Народной Республики. – [2016–2018]. – Режим доступа : <http://www.fondnsdn.ru/page/профилактика-несчастных-случаев-на-производстве-и-профессиональных-заболеваний.html>.

5. Гланц, С. Медико-биологическая статистика [Текст] / С. Гланц. – Пер. с англ. – М. : Практика, 1998. – 459 с.

Получено 09.10.2018

Д. О. ДОСТОВАЛОВА, М. С. ПОДГОРОДЕЦЬКИЙ, Л. В. НІКОЛАЄВА
АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ ТА ПРОФЕСІЙНОЇ
ЗАХВОРЮВАНОСТІ В ДОНЕЦЬКІЙ НАРОДНІЙ РЕСПУБЛІЦІ ЗА
6 МІСЯЦІВ 2018 РОКУ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Наведено результати аналізу виробничого травматизму та професійної захворюваності в ДНР за 6 місяців 2018 року. Виконано порівняння видів економічної діяльності з травмонебезпеки. Розглянуто види подій та причини нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань. Запропоновано заходи щодо зниження виробничого травматизму та професійної захворюваності в ДНР.

Ключові слова: виробничий травматизм, нещасний випадок, виробнича травма, професійне захворювання.

DARIA DOSTOVALOVA, NICHOLAS PODGORODETSKY, LARISA NIKOLAEVA
ANALYSIS OF OCCUPATIONAL INJURIES AND MORBIDITY IN THE DONETSK
PEOPLE'S REPUBLIC FOR 6 MONTHS OF 2018
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The results of the analysis of occupational injuries and occupational diseases in the DPR for 6 months of 2018 have been given. The comparison of types of economic activity on injury risk is carried out. The types of events and causes of industrial accidents and occupational diseases are considered. Measures to reduce occupational injuries and occupational morbidity in the DPR are proposed.

Key words: occupational injury, accident, occupational injury, occupational disease.

Достовалова Дарья Александровна – студентка 4-го курса ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: основополагающие принципы экологической архитектуры, анализ степени возникновения риска при подземных разработках полезных ископаемых; перспективные инновационные способы газоочистки; проблемы снижения производственного травматизма.

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

Николаева Лариса Владимировна – старший преподаватель кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: охрана труда в отрасли жилищно-коммунального хозяйства; условия труда на рабочем месте; безопасность технологических процессов и оборудования; состояние средств коллективной и индивидуальной защиты.

Достовалова Дар'я Олександрівна – студентка 4-го курсу ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: основоположні принципи екологічної архітектури, аналіз ступеня виникнення ризику при підземних розробках корисних копалин; перспективні інноваційні способи газоочистки; проблеми зниження виробничого травматизму.

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

Ніколаєва Лариса Володимиривна – старший викладач кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: охорона праці в галузі житлово-комунального господарства; умови праці на робочому місці; безпека технологічних процесів і обладнання; стан засобів колективного та індивідуального захисту.

Dostovalova Daria – a 4th year student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fundamental principles of ecological architecture, analysis of the degree of risk occurrence in underground mining of mineral resources; promising innovative gas cleaning methods; problems of reducing occupational injuries.

Podgorodetsky Nicholas – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: labor safety in construction; energy-efficient methods of control and diagnostics for the safe construction and operation of wells for the extraction of shale gas; improve 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.

Nikolaeva Larisa – Senior Lecturer, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: labor protection in the sector of housing and communal services; working conditions in the workplace; safety of technological processes and equipment; state of collective and individual protection.

УДК 628.356

В. И. НЕЗДОЙМИНОВ, Д. В. ЗАВОРОТНЫЙ, О. В. ГОДОВИЧЕНКО
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ЛИНИИ ТОКА АЭРОТЕНКА-ОСВЕТЛИТЕЛЯ С ЗАТОПЛЕННОЙ
ЭРЛИФТНОЙ СИСТЕМОЙ АЭРАЦИИ**

Аннотация. Представлены схематические линии тока в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации. Приведены теоретические зависимости для расчёта границы водоворотной зоны. Экспериментально определены положения характерных линий тока водоворотной зоны. Определён угол наклона внешней границы затопленной струи в аэротенке-осветлителе.

Ключевые слова: аэротенк-осветлитель, эрлифтный биореактор, водоворотная зона, турбулентная струя, линии тока.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время на канализационных очистных станциях достаточно широко используются аэротенки-осветлители. Аэротенк-осветлитель представляет собой аэротенк и осветлитель, скомбинированные в одном сооружении. Соответственно, в аэротенке-осветлителе осуществляется аэробная биохимическая обработка сточных вод активным илом и отделение частиц активного ила от очищаемой жидкости. Отделение активного ила в аэротенках-осветлителях, используемых в системах очистки хозяйственно-бытовых стоков, производится преимущественно во взвешенном слое ила [1, 2].

Время пребывания активного ила во взвешенном слое ограничено, поскольку при длительном отсутствии аэрации микроорганизмы, составляющие активный ил, подвергаются нежелательным физиологическим изменениям. Время нахождения ила во взвешенном слое осветлителя ограничиваются посредством возврата в аэрируемую часть аэротенка-осветлителя. В существующих аэротенках-осветлителях рециркуляция ила из осветлителя производится либо принудительно – дополнительным насосным оборудованием, либо за счёт использования кинетической энергии потоков, которые возникают в аэротенках со свободно плавающим илом за счёт аэрации [3]. Принудительная насосная рециркуляция, как правило, осуществляется эрлифтами [4]. Недостатком принудительной рециркуляции являются дополнительные экономические затраты. Эрлифтные системы рециркуляции обладают значительной материалоёмкостью. Эксплуатация эрлифтных систем рециркуляции на существующих канализационных очистных станциях малой производительности часто сопровождается перерасходом воздуха [4]. Недостатком использования для рециркуляции ила потоков, образующихся при работе системы аэрации, является сложность обеспечения требуемого расхода иловой смеси, перекачиваемой из осветлителя в аэротенк. В таких аэротенках-осветлителях требуется детальное исследование зависимости рециркуляции иловой смеси от расхода воздуха.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

К аэротенкам-осветлителям, в которых возврат иловой смеси из осветлителя в аэротенк производится без использования дополнительного насосного оборудования, относится разработанный в ДонНАСА аэротенк-осветлитель с затопленной эрлифтной системой аэрации [3, 5]. Аэротенк-осветлитель с затопленной эрлифтной системой аэрации представляет собой эрлифтный биореактор с внутренней циркуляцией [6, 7], который блокирован с осветлителем (рис. 1).

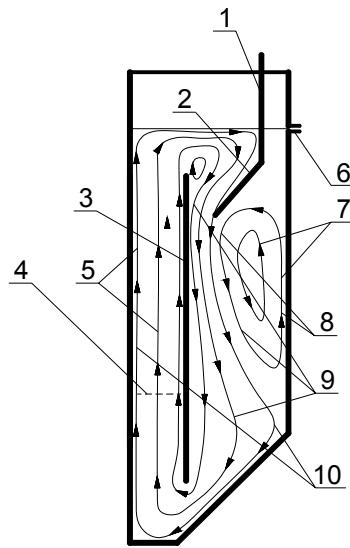


Рисунок 1 – Схема аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации: 1 – вертикальная разделительная перегородка; 2 – наклонный козырек; 3 – вертикальная стенка затопленного эрлифта; 4 – аэратор; 5 – восходящий газожидкостный поток; 6 – отводящий лоток; 7 – восходящий поток водоворотной зоны; 8 – водоворотная зона; 9 – нисходящий поток; 10 – основной циркуляционный поток.

странстве учитывает случаи обтекания препятствия, разворота струи и т. д. [10]. При этом рассматриваются струи не ограниченные по длине.

ЦЕЛЬ

Определение угла наклона границы затопленной турбулентной струи, который необходим для расчёта геометрических и кинематических параметров водоворотной зоны в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На рисунке 2 представлено условное положение линий тока водоворотной зоны (при отсутствии гидравлической нагрузки на осветлитель), основанное на теории затопленных турбулентных струй [10]. Характерной линией тока является граница водоворотной зоны 10. На любой глубине s относительно уровня нижней кромки наклонного козырька в пределах водоворотной зоны восходящий и нисходящий расходы равны. То есть расход за пределами струи равен результирующему расходу той части расхода струи, которая протекает на расстоянии от y_m до b от внутренней границы пограничного слоя струи. Математически это условие выражается зависимостью 1.

$$\int_{y_m}^b (y_{bh} \cdot L \cdot u_{bh}) dy_{bh} = Q_w, \quad (1)$$

где Q_w – расход между внешней границей струи и наружной стенкой аэротенка-осветлителя, $\text{м}^3/\text{с}$, который можно вычислить по формуле 3;

y_m – горизонтальное расстояние от внутренней границы пограничного слоя струи до границы водоворотной зоны, м;

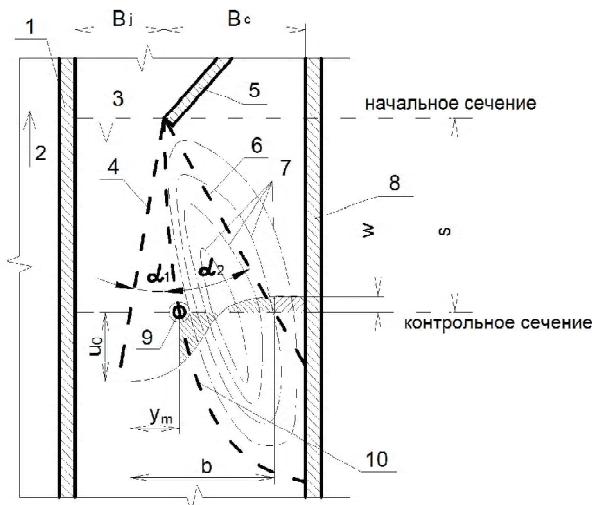


Рисунок 2 – Схематическое положение линий тока водоворотной зоны: 1 – вертикальная стенка затопленного эрлифта; 2 – восходящий газожидкостный поток; 3 – нисходящий поток аэротенка; 4 – внутренняя граница пограничного слоя струи; 5 – наклонный козырёк; 6 – внешняя граница струи; 7 – линии тока водоворотной зоны; 8 – наружная стенка аэротенка-осветлителя; 9 – контрольная точка; 10 – граница водоворотной зоны.

b – ширина пограничного слоя струи, м;

L – длина прямоугольного в плане аэротенка-осветлителя, измеряемая в перпендикулярном по отношению к плоскостям рисунков 1, 2 направлении, м;

$u_{\text{ен}}$ – вертикальная составляющая скорости, м/с элементарной струйки, протекающей на расстоянии $u_{\text{ен}}$ м от внутренней границы пограничного слоя струи. По формуле Шлихтинга в пределах начального участка струи:

$$u_{\text{ен}} = (u_0 + w) \cdot [1 - (y_{\text{ен}}/b)^{1.5}]^2 - w, \quad (2)$$

где u_0 – скорость нисходящего потока 3, м/с;

$$Q_w = (B_c - s \cdot \tan(\alpha_2)) \cdot L \cdot w, \quad (3)$$

где B_c – расстояние от нижней кромки наклонного козырька 5 до наружной стенки 8, м;

s – расстояние от начального сечения, м;

α_2 – угол между вертикалью и внешней границей струи 6;

w – средняя скорость восходящего потока за пределами струи, м/с. Формула 4 для расчёта скорости w за пределами струи выведена из условия равенства результирующего расхода во всех поперечных сечениях.

$$w = \frac{u_0 \cdot s \cdot [0.135 - \tan(\alpha_1) - 0.125 \cdot \delta_0 / S_0]}{B_c + s \cdot (0.165 - \tan(\alpha_2))}, \quad (4)$$

где s – расстояние от начального сечения, м;

S_0 – длина начального участка затопленной струи [10], м, вычисляемая из уравнения 5;

$$\frac{0.37 \cdot S_0^{0.8} \cdot v^{0.2}}{u_0^{0.2}} + \tan(\alpha_1) \cdot S_0 = B_j, \quad (5)$$

δ_0 – толщина пристенного слоя струи на расстоянии S_0 от начального сечения:

$$\delta_0 = B_j - S_0 \cdot \tan(\alpha_1), \quad (6)$$

где v – кинематическая динамическая вязкость жидкости, м²/с;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

α_1 – угол между вертикалью и внутренней границей пограничного слоя струи ;
 B_j – ширина струи в начальном сечении, м.

После подстановки в выражение 1 формул 3, 4 и интегрирования получена формула 7, позволяющая вычислить координаты s и y_m границы ядра постоянной массы струи:

$$\begin{aligned} (0,3 \cdot s - y_m) \cdot (0,45 - 0,55 \frac{s \cdot [0,135 - \operatorname{tg}(\alpha_1) - 0,125 \cdot \delta_0 / S_0]}{B_c + s \cdot (0,165 - \operatorname{tg}(\alpha_2))}) = \\ = \frac{(B_c - s \cdot \operatorname{tg} \alpha_2) \cdot [0,135 - \operatorname{tg}(\alpha_1) - 0,125 \cdot \delta_0 / S_0]}{B_c + s \cdot (0,165 - \operatorname{tg}(\alpha_2))}, \end{aligned} \quad (7)$$

При истечении турбулентной струи во встречный поток [10]:

$$\operatorname{tg}(\alpha_1) = (0,416 - 0,134 \cdot w/u_0) \cdot c; \quad (8)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_2) = (0,584 + 0,134 \cdot w/u_0) \cdot c. \quad (9)$$

где c – константа турбулентности. При образовании водоворотной зоны за плохо обтекаемым телом и неограниченной длине струи принимается равной 0,3 [10].

Если принять значение константы турбулентности $c = 0,3$, то при значительном превышении нисходящей скорости u_0 над восходящей скоростью w тангенсы углов α_1 и α_2 составят: $\operatorname{tg}(\alpha_1) = 0,125$, $\operatorname{tg}(\alpha_2) = 0,175$.

Проследить положение линий тока можно при помощи помещения в прозрачную жидкость непрозрачных веществ (жидкого красителя, твёрдых частиц). При закреплении в потоке жидкости нити, обладающей нейтральной плавучестью, её положение приблизится к положению условной линии тока, проходящей через точку закрепления этой нити. На рисунке 3 представлено положение нитей, которые были закреплены на нижней кромке наклонного козырька лабораторной модели аэротенка-осветлителя.

Использовались три нити, обладающие различной длиной: 70, 130 и 220 мм. Скорость нисходящего потока составляла $u_0 \approx 50$ м/с. Устанавливались следующие значения геометрических параметров: ширина зазора между нижней кромкой наклонного козырька и вертикальной стенкой затопленного эрлифта $B_j = 50$ мм; расстояние от нижней кромки наклонного козырька до наружной стенки $B_c = 75$ мм; высота от дна до нижней кромки наклонного козырька $h_w = 260$ мм. Глубина контрольного сечения составляет $s = 0,1$ м.

В ходе анализа фото- и видеоматериалов, полученных в ходе эксперимента, выявилось, что в крайнем и наиболее часто принимаемом положении нити пересекают линию с координатами $s = 100$ мм, $y_m \approx 29$ мм. На рисунке 3 данная линия отмечена как «контрольная точка». Если принять $\operatorname{tg}(\alpha_2) = 0,175$, то для глубины контрольного сечения $s = 0,1$ м тождество 7 выполняется при $y_m = 0,029$ м. Экспериментальные координаты линий тока, которые проходят по границе водоворотной зоны, совпали с теоретическими, которые были приняты при константе турбулентности $c = 0,3$.

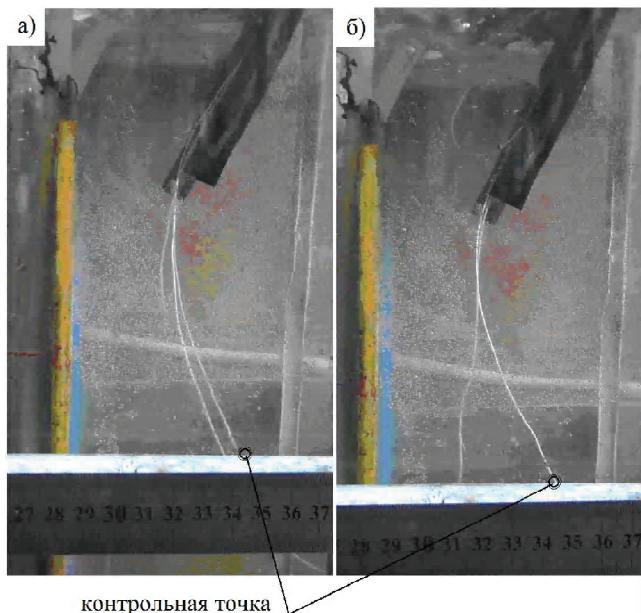


Рисунок 3 – Визуализация границы водоворотной зоны посредством нитей: а) все нити стремятся к границе водоворотной зоны; б) наиболее длинная нить пересекает контрольную точку, остальные – временно отклоняются из-за турбулентных пульсаций.

торые проходят по границе водоворотной зоны, совпали с теоретическими, которые были приняты при константе турбулентности $c = 0,3$.

ВЫВОДЫ

1. Выведено уравнение 7 для вычисления координат границы водоворотной зоны.
2. Определён угол наклона границы затопленной турбулентной струи в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации. Тангенс угла наклона границы струи составляет $\operatorname{tg}(\alpha_2) = 0,175$.
3. Установлено, что ограничение длины затопленной турбулентной струи поперечным препятствием не оказывает значительного влияния на раскрытие струи и форму образующейся водоворотной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басамыкина, А. Н. НДТ очистки хозяйствственно-бытовых сточных вод: оценка эффективности работы очистных сооружений «Биокомпакт» для обеспечения безопасного сброса в р. Истру (Московская область) [Электронный ресурс] / А. Н. Басамыкина // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2016. – № 6(27). – С. 107–111. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=27440453>.
2. Гогина, Е. С. Устройство, особенности строительства и эксплуатации индивидуальных очистных сооружений в РФ [Электронный ресурс] / Е. С. Гогина, В. П. Саломеев, Ю. П. Побегайло, Н. А. Макиша // Вестник Иркутского государственного технического университета – 2014. – № 10(93). – С. 142–147. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=22482316>.
3. Заворотный, Д. В. Обеспечение циркуляции иловой смеси в аэротенках-отстойниках со взвешенным слоем [Электронный ресурс] / Д. В. Заворотный, А. В. Жибоедов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. №3(119) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 186–189. – Режим доступа : http://nbuv.gov.ua/UJRN/ydnaba_2016_3_38.
4. Дзюбо, В. В. Модернизация эрлифтного узла рециркуляции активного ила [Электронный ресурс] / В. В. Дзюбо, Л. И. Алферова // Водоочистка. – 2014. – № 10. – С. 29–33. – Режим доступа : https://updoc.site/download/5acf51f6ddae_pdf.
5. Нездойминов, В. И. Процессы осветления иловой смеси во взвешенном слое в сооружениях с эрлифтной системой аэрации [Текст] / В. И. Нездойминов, Д. В. Заворотный, В. С. Рожков // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017» : материалы X – юбилейной междунар. науч.-практич. конф. – Новочеркаськ : Лик, 2017. – С. 268–272.
6. Al-Mashhadani, M. K. H. Airlift bioreactor for biological applications with microbubble mediated transport processes [Electronic resource] / M. K. H. Al-Mashhadani, S. J. Wilkinson, W. B. Zimmerman // Chemical Engineering Science – 2015. – Vol. 137. – pp. 243–253. – Access mode : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250915004406>.
7. Cozma, P. Airlift reactors: Applications in wastewater treatment [Electronic resource] / P. Cozma, M. Gavrilescu // Environmental Engineering and Management Journal. – 2012. – Vol. 11, № 8. – PP. 1505–1515. – Access mode : <https://www.researchgate.net/publication/287447561>.
8. Заворотный, Д. В. Применение теории турбулентных струй для расчета процесса обновления взвешенного слоя ила в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации [Текст] / Д. В. Заворотный, В. И. Нездойминов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сборник докладов XI Международной науч. конф. аспирантов и студентов. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федер. ун-та, 2017. – С. 14–16.
9. Нездойминов, В. И. Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации [Текст] / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – № 93. – С. 353–358.
10. Абрамович, Г. Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г. Н. Абрамович. – М. : Физматгиз, 1960. – 715 с.

Получено 30.09.2018

В. І. НЕЗДОЙМИНОВ, Д. В. ЗАВОРОТНИЙ, О. В. ГОДОВІЧЕНКО
ЛІНІЇ ТЕЧІЇ АЕРОТЕНКА-ОСВІТЛЮВАЧА З ЗАТОПЛЕНОЮ ЕРЛІФТНОЮ
СИСТЕМОЮ АЕРАЦІЇ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Представлені схематичні лінії течії в аэротенку-освітлювачі з затопленою ерліфтною системою аерації. Наведені теоретичні залежності для розрахунку межі водоворотної зони. Експериментально визначені положення характерних ліній течії водоворотної зони. Визначено кут нахилу зовнішньої межі затопленого струменя в аэротенку-освітлювачі.

Ключові слова: аэротенк-освітлювач, ерліфтний біореактор, водоворотна зона, турбулентний струмінь, лінії течії.

VIKTOR NEZDOYMINOV, DMITRII ZAVOROTNYI, OKSANA GODOVICHENKO
STREAMLINES OF THE AERATOR-CLARIFIER UNIT WITH FLOODED
AERATION SYSTEM

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The schematic streamlines in the aerator-clarifier unit with flooded airlift aeration system have been presented. The theoretical dependences for the coordinates of the eddy zone boundary calculating have been given. The characteristic streamlines of the eddy zone have been determined experimentally. The angle of inclination of the outer boundary of the submerged jet in the aerator-clarifier unit has been determined.

Key words: aerator-clarifier unit, airlift bioreactor, eddy zone, turbulent jet, streamlines.

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: биологическая очистка сточных вод.

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

Годовиченко Оксана Викторовна – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоотведение, механика жидкости и газа.

Нездоймінов Віктор Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: біологічна очистка стічних вод.

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

Годовиченко Оксана Вікторівна – магістрантка кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водовідведення, механіка рідини та газу.

Nezdoymenov Viktor – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: biological treatment of wastewater.

Zavorotnyi Dmitrii – post-graduate student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sewerage, mechanics of fluids.

Godovichenko Oksana – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sewerage, mechanics of fluids.

УДК 628.1

В. С. РОЖКОВ, Ю. Г. АКУЛОВА, Н. А. ГРЕБЕНЮК
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД НА ДРОБЛЕННОМ АНТРАЦИТЕ

Аннотация. Рассмотрена возможность применения дробленного антрацита в качестве однослоевой загрузки скорых фильтров вместо кварцевого песка; получены зависимости для определения потерь напора в загрузке при различном качестве поступающей на фильтр воды и скорости ее фильтрования.

Ключевые слова: дробленный антрацит, потери напора, масса задержанных загрязнений, скорость фильтрования.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Традиционным фильтрующим материалом на скорых фильтрах водопроводных очистных сооружений является кварцевый песок. Его физико-химические свойства позволяют извлекать из воды взвешенные вещества, он химически инертен, не выделяет в фильтруемую воду никаких примесей, обладает повышенной грязеемкостью. Он легко отмывается от задержанной взвеси, не измельчается и не истирается при промывке, стоек против химического воздействия на него фильтруемой воды. Это дефицитный материал, его месторождения обычно содержат 20...30 % пригодного песка. Ближайшее к Донбассу месторождение (Просянский карьер) находится в Днепропетровской области, [1] далее карьеры расположены на территории России. Самыми известными можно назвать следующие: Березичское, находящееся в Калужской области, Козловское (находится в Брянской области), а также месторождение Московской области – Чулковское. Наиболее приближенное к Донбассу со стороны РФ Елшанское месторождение, расположенное в Волгоградской области. Таким образом, Донбасс испытывает некоторую затрудненность в доставке кварцевого песка для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения. Поэтому в таких условиях целесообразно рассмотреть местные фильтрующие материалы для использования в коммунальном хозяйстве.



Рисунок 1 – Дробленный антрацит. Общий вид.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В качестве фильтрующей загрузки может быть рассмотрен дробленный антрацит [2], его получают измельчением угля различных марок. Дробленный антрацит представляет собой гранулы неправильной формы черного цвета с блестящими гранями. Фото дробленного антрацита представлено на рис. 1. Его физико-механические свойства характеризуются следующими параметрами: насыпная объемная масса 700...900 кг/м³, плотность 1,7 г/см³, пористость 52...58 %, коэффициент формы 1,5...2,5. По требованиям СП 31.13330.2012 дробленный антрацит может использоваться на скорых фильтрах с двухслойной загрузкой совместно с кварцевым песком [3].

Как и к другим фильтрантам, к антрациту предъявляются определенные требования по механической прочности, химической стойкости, гранулометрическому составу. Нормируется диаметр зерен пределами от 0,8 до 1,8 мм (эквивалентный диаметр 0,9–1,1 мм) и коэффициент неоднородности величиной 1,6...1,8 [3]. Размеры и форма частиц, коэффициенты неравномерности антрацитовой загрузки и других фильтрантов имеют доказанное влияние на качество очистки, грязеемкость фильтров [4–5].

Рекомендуемая высота слоя антрацита в двухслойном фильтре 0,4...0,5 м. Использование антрацитовых фильтрантов в двухслойных загрузках в качестве верхнего слоя изучено достаточно хорошо [6–9]. Применение же дробленного антрацита как загрузки для однослойных скорых фильтров в настоящее время не имеет научно обоснованных технологических параметров.

К основными параметрам процесса фильтрования относят такие величины, как скорость фильтрования V , грязеемкость материала G и продолжительность фильтроцикла τ .

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение взаимозависимостей основных параметров фильтрования при использовании антрацита как материала загрузки однослойных фильтров при очистке природных вод.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ, СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА.

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.

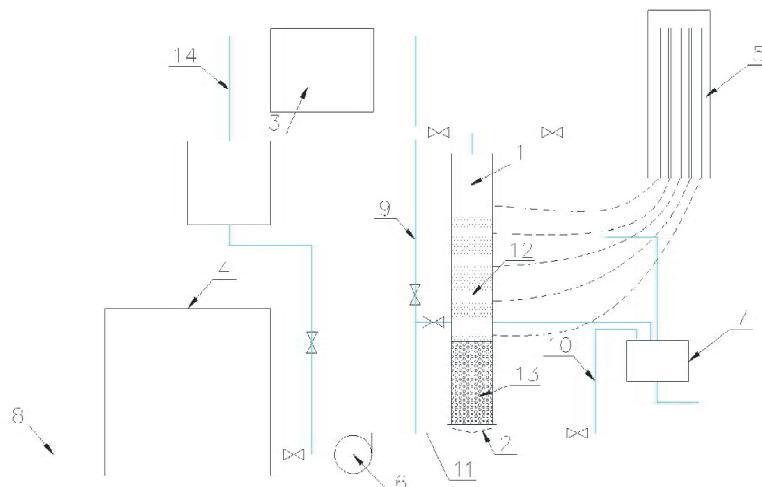


Рисунок 2 – Схема фильтровальной установки: 1 – фильтровальная колонка; 2 – дырчатое дно; 3 – бак постоянного уровня; 4 – бак исходной воды; 5 – пьезометрический щит; 6 – насос; 7 – сброс в канализацию; 8 – водопроводная вода; 9 – подача исходной воды; 10 – сброс фильтрата; 11 – подвод промывной воды; 12 – фильтрующий слой дробленого антрацита, 13 – поддерживающий слой гравия; 14 – перелив.

Основным элементом установки является фильтровальная колонка 1 с внутренним диаметром 58 мм и высотой 1,8 м, представляющая собой модель скорого фильтра, загруженного дробленым антрацитом крупностью 0,4...1,6 мм и поддерживающим слоем из гравия крупностью от 10...20 до 5...2 мм.

Распределительная система выполнена в виде дырчатого днища 2 и представляет собой дренаж с горизонтальной компенсацией. Вода фильтруется в направлении сверху вниз; исходная вода подводится из бака постоянного уровня 3. В этот бак вода подается насосом 6 из бака исходной воды 4, где приготавливается путем замутнения воды из водопровода глинистой супензией. Потери напора в слоях фильтрующей загрузки в процессе фильтрования определяются с помощью пьезометрических трубок 5, присоединяемых к полости фильтра пробоотборниками, служащими также для отбора проб очищаемой воды из толщи фильтрующей загрузки.

Согласно предварительной схеме эксперимента фильтрование проводилось при постоянном уровне воды над фильтром с постоянной нагрузкой, которая поддерживалась в процессе фильтрования открытием вентиля на сбросной линии 10.

Поддержание постоянного уровня воды над зернистой загрузкой и постоянной скорости фильтрации не реализуемо в практике фильтрования, однако позволяет в лабораторных условиях достаточно точно определить гидравлические характеристики фильтрующей загрузки.

Фото лабораторной установки приведено на рис. 3.



Рисунок 3 – Фотоизображение лабораторной установки.

Варьируемыми параметрами в лабораторных опытах являлась гидравлическая нагрузка (скорость фильтрования) в пределах 6,4...15 м/ч (6, 4, 10 и 15 м/ч). Концентрация поступающих загрязнений, представленных мелкодисперсными глинистыми частицами, составляла 16...22 мг/л и контролировалась в течение эксперимента каждый час.

Для определения основных параметров фильтрования выполнено 3 серии экспериментов, которые характеризовались соответствующими гидравлическими нагрузками.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для учета степени засорения фильтрующей загрузки принято использовать понятие массы задержанных загрязнений, которая определялась:

$$\Delta M = W \cdot \Delta C, \quad (1)$$

где W – объем фильтрующейся жидкости, пропущенный сквозь зернистую загрузку в период времени τ от начала фильтроцикла, л;
 ΔC – разница концентраций взвеси на входе и выходе из загрузки, г/л.

Функцией отклика являлись потери напора в фильтрующем элементе в целом.

Результаты экспериментов представлены на рис. 4.

Обработка результатов экспериментов производилась с помощью программного комплекса DataFit, с помощью которого определена наиболее адекватная зависимость для описания процесса фильтрования ($R^2 = 0,99676$). Зависимость потери напора в фильтрующей загрузке от массы задержанных загрязнений и скорости фильтрования, согласно полученных результатов, для антрацитовой однослойной загрузки следует определять по формуле (2) либо (3).

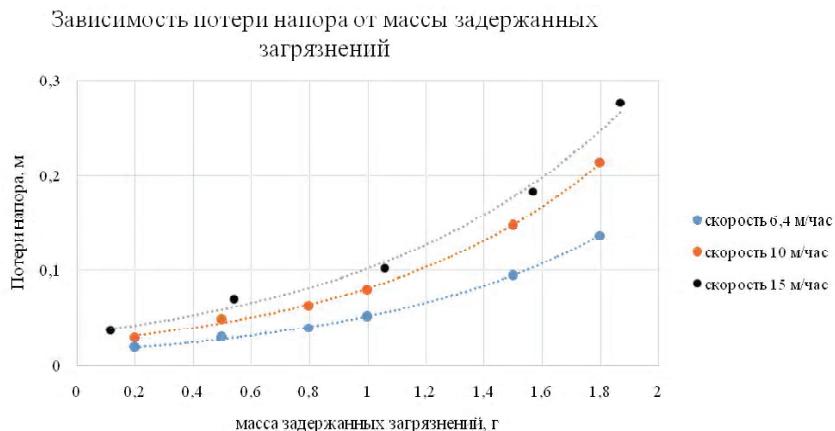


Рисунок 4 – Результаты экспериментов.

$$\Delta H = 0,216 \cdot 3,1011^{\Delta M} \cdot V^{0,996}, \quad (2)$$

$$\Delta H = 0,216 \cdot 3,1011^{V\omega\tau\Delta C} \cdot V^{0,996}, \quad (3)$$

где ΔH – потери напора, м;
 V – скорость фильтрования, м/час;
 ω – площадь фильтра, m^2 ;
 τ – период времени от начала фильтроцикла, час.

Полученные зависимости позволяют определить потери напора в фильтрующей загрузке в любой временной точке фильтроциклов зависимости от концентрации поступающих загрязнений и скорости фильтрования.

Следует отметить, что степень у скорости фильтрования в формулах 2 и 3 отличается от единицы (согласно закону Дарси), что связано с изменением коэффициента фильтрации зернистой загрузки во времени. Причиной изменения коэффициента фильтрации может быть как заливание пор фильтровального элемента, так и уплотнение загрузки в процессе фильтрования.

ВЫВОДЫ

На основании лабораторных исследований получена зависимость, связывающая потери напора в фильтрующей загрузке из дробленного антрацита со скоростью фильтрации и с концентрацией взвесей в исходной воде.

Установлен нелинейный характер зависимости потерь напора от скорости фильтрации при загрязнении фильтрующей загрузки взвешенными веществами. Полученная зависимость позволяет определять технологические параметры фильтрования при разработке однослойных фильтров с загрузкой из дробленного антрацита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы очистки воды [Текст] / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев, В. Н. Маслак, Н. И. Зотов. – Макеевка : ДГАСА, 1999. – 277 с.
2. Благая, А. В. Експериментальне обґрунтування можливості використання антрацитового фільтранту в існуючих схемах очистки води для централізованого водопостачання [Текст] / А. В. Благая // Український науково-медичний молодіжний журнал. Профілактична медицина. – 2009. – № 1. – С. 52–53.
3. СП правил СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2) [Текст]. – Введ. 2013-01-01 / ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИЦ "Строительство"». – М. : Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 124 с.
4. Experimental study concerning the distribution of granular particles hape from afilter layer [Text] / Oana Irimia, Valentin Nedeff, Mirela Panainte Lehadus, Claudia Tomozei // Journal of Engineering Studies and Research. – 2016. – Volume 22, No. 1. – PP. 64–71.
5. Necessity for replacing the filter media in the water treatment plant based on effective size and uniformity coefficient [Electronic resource] / Mohsen Memarzadeh, Mohammad Mehdi Amin, Hossein Mostafavi, Reza Kolivand, Mohsen

- Heidari // Environmental Health Engineering. – Access mode : <http://www.ijehe.org/article.asp?issn=2277-9183; year=2012; volume=1; issue=1; spage=50; epage=50; aulast=Memarzadeh>.
6. Самофалов, В. С. Антрацитовые фильтранты [Текст] / В. С. Самофалов, М. А. Передерий, Ю. И. Кураков // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2004. – № S1. – С. 92–102.
 7. Самофалов, В. С. Переработка антрацита в сорбционные материалы различного назначения [Текст] : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.17.07 – Химия и технология топлив и специальных продуктов / Валентин Сергеевич Самофалов. – Москва : [б. и.], 2004. – 28 с.
 8. Передерий, М. А. Дробленые и гранулированные сорбенты из антрацита [Текст] / М. А. Передерий, Ю. И. Кураков, В. С. Самофалов // Химия твердого топлива. – 2004. – № 3. – С. 46–59.
 9. Пат. 2238787, Россия МПК 7B 01D 39/02 A, 7B 01J 20/16 В. Загрузка контактного фильтра для очистки природных вод [Текст] / С. Н. Линевич, Л. Н. Фесенко, С. С. Богданов, С. И. Игнатенко ; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). – № 2003112774/15 ; заявл. 29.04.2003 ; опубл. 27.10.2004.

Получено 03.10.2018

В. С. РОЖКОВ, Ю. Г. АКУЛОВА, Н. А. ГРЕБЕНЮК
ВІЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУВАННЯ ПРИРОДНИХ ВОД НА
ДРОБЛЕНОМУ АНТРАЦІТІ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Розглянута можливість застосування дробленого антрациту як одношарового завантаження швидких фільтрів замість кварцового піску; отримані залежності для визначення втрат напору в завантаженні при різній якості води, що подається на фільтр та швидкості її фільтрування.

Ключові слова: дроблений антрацит, втрати напору, маса затриманих забруднень, швидкість фільтрування.

VITALY ROZHKOY, JULIA AKULOVA, NATALIYA GREBENYUK
DETERMINATION OF FILTRATION PARAMETERS THROUGH CRUSHED
ANTHRACITE OF NATURAL WATERS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The possibility of crushed anthracite using as a single-layer load of high-speed filters instead of quartz sand was considered; dependences are obtained to determine the pressure loss in the load with different quality of water entering the filter and its filtration rate.

Key words: crushed anthracite, pressure loss, mass of delayed contamination, filtration rate.

Рожков Виталий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: моделирование биохимических процессов в очистке сточных вод, системы обратного водоснабжения, очистка сточных вод от биогенных элементов.

Акулова Юлия Геннадиевна – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка природных и сточных вод, процессы фильтрации.

Гребенюк Наталья Александровна – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка природных и сточных вод, процессы фильтрации.

Рожков Віталій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: моделювання біохімічних процесів в очищенні стічних вод, системи зворотнього водопостачання, очищення стічних вод від біогенів елементів.

Акулова Юлія Геннадіївна – асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення природних та стічних вод, процеси фільтрування.

Гребенюк Наталія Олександрівна – магістрант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення природних та стічних вод, процеси фільтрування.

Rozhkov Vitaly – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modeling of biochemical processes in sewage treatment, water recycling system, waste water treatment from nutrients.

Akulova Julia – Assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: natural and waste water treatment, filtration processes.

Grebennyuk Nataliya – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: natural and waste water treatment, filtration processes.

УДК 628.336

В. И. НЕЗДОЙМИНОВ, В. Н. ЧЕРНЫШЕВ, В. Ф. КИЖАЕВ, А. В. МОГУКАЛО
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АСПЕКТЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД. СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы извлечения ионов тяжелых металлов в целях использования осадков, образующихся на очистных станциях, в качестве удобрения. Проведен анализ изменения кинетики и величины pH и влияния предварительной аэробной минерализации на выщелачивание ионов тяжелых металлов из осадка.

Ключевые слова: обработка осадков, ионы тяжелых металлов, минерализация, активный ил.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На городских канализационных очистных станциях при очистке хозяйствственно-бытовых сточных вод образуется значительное количество органических осадков, которые требуют в дальнейшем утилизации. Наиболее рациональным способом утилизации осадков является их использование в качестве органоминеральных удобрений. По агрохимической ценности активный ил не уступает традиционным удобрениям, так как содержит порядка 70 % органического вещества, 5 % азота, 2 % фосфора, 1 % калия [1]. Однако зачастую в осадках присутствуют вредные примеси, в том числе и ионы тяжелых металлов, которые могут препятствовать такому использованию. В этом случае приходится решать задачи их извлечения из осадков.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Существующие методы удаления ионов тяжелых металлов можно подразделить на химические, физико-химические и реагентно-биологические. Химические методы заключаются в обработке осадков реагентами, в технической литературе этот метод называют реагентным выщелачиванием [2]. Реагентное выщелачивание основано на химическом взаимодействии кислот с ионами металлов, с образованием растворимых солей.

При этом образующиеся соли в кислой среде (pH 2–3) переходят в иловую воду, и их концентрация в твердой фазе осадка уменьшается. Жидкую фракцию осадка, полученную фильтрованием, в дальнейшем подвергают обработке щелочным реагентом с целью выделения тяжелых металлов.

Физико-химические методы включают экстракцию соединений тяжелых металлов органическими кислотами, обработку осадка кальцийсодержащими материалами, а также термические методы [3]. Эти методы технологически сложны и требуют специального оборудования.

Реагентно-биологический метод основан на сочетании биологических процессов и реагентной обработки осадка. Он включает анаэробную стабилизацию осадков в метантенке, последующую промывку сброшенного осадка, аэробную биологическую обработку его ацидофильными микроорганизмами в кислой среде с добавлением железного купороса. После этого иловая вода, образующаяся при фильтр-прессовании, в дальнейшем обрабатывается флокулянтом для извлечения из нее тяжелых металлов. Обезвоженный осадок нейтрализуется карбонатом кальция [4]. Данный метод обработки позволяет сохранить высокие удобрительные свойства осадка, обладает более высоким эффектом удаления металлов. Анализ рассмотренных методов показывает, что все они обладают разного рода недостатками, которые затрудняют их применение. К таким недостаткам можно отнести сложность технологических схем и большие расходы реагентов.

ЦЕЛЬ

Исследование влияния аэробной минерализации на извлечение ионов тяжелых металлов из осадка.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

С нашей точки зрения для извлечения ионов тяжелых металлов наиболее простым в реализации методом является реагентное выщелачивание. Недостатком метода является повышенный расход кислоты, так как значительная ее часть идет на реакцию с веществами, входящими в состав твердой фазы осадка. С целью уменьшения расхода кислоты можно предложить предварительную аэробную минерализацию. Известно, что при данном методе величина pH снижается [5]. Для выяснения, до каких величин может снизиться pH, был проведен эксперимент. При проведении эксперимента была изготовлена экспериментальная установка по аэробной стабилизации, представляющая собой ёмкость из оргстекла, оборудованную системой аэрации. Емкость квадратная в плане с пирамидалльным днищем со следующими габаритами: размер в плане – 14×14 см, общая высота – 53 см, высота пирамидалльной части – 14 см, общий объём установки – 7 л. Угол наклона боковой грани пирамидалльного днища 60°. Подача воздуха для аэрации осуществлялась с помощью компрессора марки НР. Диспергирование воздуха производилось через тканевый аэратор. Для изучения кинетики снижения pH при стабилизации использовался активный ил аэротенков Макеевских очистных сооружений. Эксперименты проводились следующим образом. Установка заполнялась активным илом, отобранным из канала возвратного ила аэротенков, и включалась аэрация. В ходе эксперимента контролировалась величина pH, концентрация растворенного кислорода. Результаты эксперимента графически указаны на рисунке.

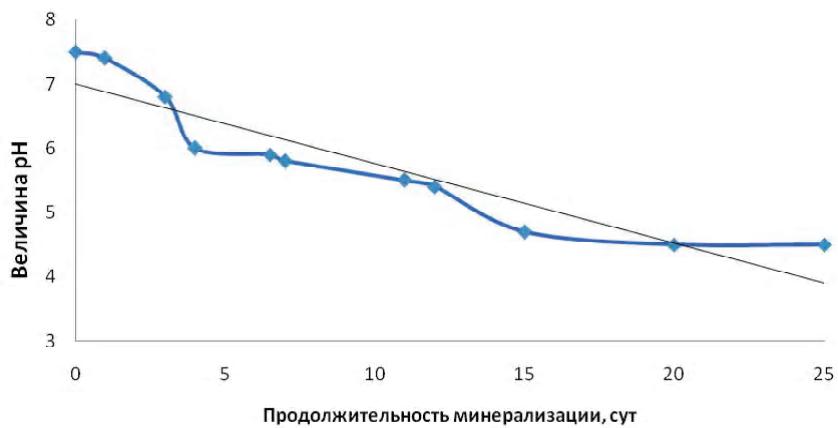


Рисунок 1 – Кинетика снижения величины pH иловой смеси в ходе аэробной минерализации активного ила.

По полученным экспериментальным данным видно, что снижение величины pH при минерализации происходит до 4,5.

В дальнейшем изучался вопрос выщелачивания тяжелых металлов в ходе аэробной минерализации. С этой целью проводился эксперимент с контролем над содержанием в иловой воде ионов металлов до и после минерализации. Для эксперимента использовался активный ил при концентрации 5,7 г/дм³. Минерализация активного ила осуществлялась в течение 18 суток, при этом pH снизилось до 4,6. Концентрация активного ила за счет минерализации снизилась с 5,7 до 3,85 г/дм³. Анализ по содержанию ионов тяжелых металлов выполнялся атомно-адсорбционным методом на приборе «Сатурн 3-П1» с приставкой Графит 2, предназначеннной для электронного обсчета результатов анализа. Контролировалось содержание следующих металлов: свинца, никеля, хрома, меди, цинка и кадмия. В таблице 1 приведены данные содержания ионов металлов в осадке до минерализации, было проведено сравнение с допустимыми концентрациями содержания ионов металлов в осадке [6].

Из полученных данных видно, что содержание ионов свинца, хрома, цинка и меди входит в допустимые нормы, однако по показателям содержание ионов никеля и кадмия превышает допустимые концентрации. В таблице 2 указаны результаты содержания ионов тяжелых металлов после минерализации активного ила.

Таблица 1 – Результаты содержания ионов тяжелых металлов в активном иле до минерализации Макеевских очистных сооружений

| № п/п | Наименование ионов металлов | ПДК мг/кг | В иле до минерализации мг/кг сух. в-ва |
|-------|-----------------------------|-----------|--|
| 1 | Свинец | 250 | 47,5 |
| 2 | Никель | 200 | 272,4 |
| 3 | Хром | 500 | 31,6 |
| 4 | Цинк | 1 750 | 406,8 |
| 5 | Медь | 750 | 17,9 |
| 6 | Кадмий | 15 | 27,8 |

Таблица 2 – Результаты выщелачивания ионов тяжелых металлов активного ила после минерализации Макеевских очистных сооружений, при pH- 4,5.

| № п/п | Наимено-вание ионов металлов | Содержание ионов металлов | | | Кол-во ионов металлов, перешедшее в илов. воду, мг/кг сух. в-ва | В иле после минер., мг/кг сух. в-ва | Э % |
|-------|------------------------------|--------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|-----|
| | | В иле до минерализ., мг/кг сух. в-ва | В илов. воде до минерализ., мг/ дм ³ | В илов. воде после минерализ. мг/ дм ³ | | | |
| 1 | Никель | 272,4 | 0,0139 | 0,4625 | 79,1 | 193,3 | 29 |
| 2 | Кадмий | 27,8 | 0,0003 | 0,1 | 17,4 | 10,4 | 62 |

Исходя из полученных данных видно, что в процессе минерализации некоторое количество ионов тяжелых металлов перешло в воду. Тем самым снизив концентрацию в твердой фазе осадка.

ВЫВОДЫ

1. Избыточный активный ил, образующийся в результате очистки хозяйствственно- бытовых сточных вод на Макеевских очистных станциях, имеет содержание ионов тяжелых металлов, таких как свинец, хром, цинк и медь, не превышающее предельно допустимые концентрации, а также превышающее – ионы никеля и кадмия.

2. Проведение аэробной минерализации активного ила приводит к выщелачиванию некоторых металлов, при этом концентрация ионов никеля и кадмия снижается ниже предельно допустимых концентраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нездойминов, В. И. Миграция ионов тяжелых металлов при использовании осадков городских сточных вод в качестве удобрения [Текст] / В. И. Нездойминов, О. А. Чернышева // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2010. – Вип. 2010-2(82) Проблеми архітектури і містобудування. – С. 150–157.
2. Котюк, Ф. А. Разработка методов удаления тяжёлых металлов из осадков городских сточных вод [Текст] / Ф. А. Котюк, Ю. И. Штонда // Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство. – 2004. – № 72. – С. 165–169.
3. Зыкова, И. В. Обезвреживание избыточных активных илов и осадков сточных вод от тяжелых металлов [Текст] : автореф. дисс. на соискание ученой степени докт. хим. наук : 03.00.16 – экология / Ирина Викторовна Зыкова. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2008. – 32 с.
4. Пат. 2057088, Россия МПК C02F 11/00. Способ обработки осадков сточных вод с удалением тяжёлых металлов [Текст] / Д. А. Данилович, В. Е. Аджиенко ; патентообладатель Данилович Дмитрий Александрович, Аджиенко Владислав Евгеньевич. – № 2003112774/15 ; заявл. 25.04.1994 ; опубл. 27.03.1996. – 7 с.
5. Чернышев, В. Н. К вопросу удаления металлов из осадков городских сточных вод [Текст] / В. Н. Чернышев, А. В. Пономаренко, В. Ф. Кижакев // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2008. – Вип. 2008-2(70) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 60–64.
6. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений [Текст]. – Введен впервые 2001-10-01 / ОАО «Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды» ; Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт органических удобрений; НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН ; Институт медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е. И. Марциновского МЗ РФ ; Научно-исследовательский институт по сельскохозяйственному использованию сточных вод

«Прогресс» ; Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова. – М. : Госстандарт России. – 2001. – 5 с.

Получено 08.10.2018

В. І. НЕЗДОЙМИНОВ, В. М. ЧЕРНИШЕВ, В. Ф. КИЖАЕВ, А. В. МОГУКАЛО
АСПЕКТИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД, ЩО МІСТЬЯТЬ ІОНИ
ВАЖКИХ МЕТАЛІВ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У даній статті розглянуті методи вилучення іонів важких металів з метою використання осаду, що утворюється на очисних станціях, як добриво. Проведено аналіз зміни кінетики величини pH і впливу попередньої аеробної мінералізації на вилуговування іонів важких металів з осаду.

Ключові слова: оброблення осаду, іони важких металів, мінералізація, активний мул.

VIKTOR NEZDOYMINOV, VALENTIN CHERNYSHEV, VITALY KIZHAEV,
ANASTASIA MOGUKALO

ASPECTS OF ACTIVE SLUDGE CONTAINING HEAVY METAL
IONS UTILIZATION

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. This article discusses the methods of heavy metal ion extraction, in order to use the precipitation formed at the sewage treatment plants as fertilizer. The analysis of changes in pH kinetics and the effect of preliminary aerobic mineralization on the leaching of heavy metal ions from sludge were carried out.

Key words: sludge utilization, heavy metal ions, mineralization, active sludge.

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: биологическая очистка сточных вод.

Чернышев Валентин Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: интенсификация методов очистки сточных вод и обработка осадков.

Кижев Виталий Федорович – аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: методы утилизации осадков.

Могукало Анастасия Вадимовна – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обработка осадков.

Нездоймінов Віктор Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: біологічна очистка стічних вод.

Чернишев Валентин Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: інтенсифікація методів очищення стічних вод і оброблення осадів.

Кижев Віталій Федорович – аспірант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: методи видалення з опадів іонів важких металів.

Могукало Анастасія Вадимівна – асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оброблення осадів.

Nezdoyminov Viktor – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: biological treatment of wastewater.

Chernyshev Valentin – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: intensification of methods of sewage treatment and deposits processing.

Kizhaev Vitaly – Post-graduate student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: methods of removal from deposits of ions of heavy metals.

Mogukalo Anastasia – Assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sludge treatment.

УДК 541.13

М. В. СУЛТАНОВА^а, А. И. СЕРДЮК^а, С. П. ЗЫРЯНОВ^б^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б Общество с ограниченной ответственностью «Муром»**ПЕРЕРАБОТКА СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В
МАЛЕИНОВОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ**

Аннотация. В работе рассматривается переработка свинцово-кислотных аккумуляторов в электролите на основе малеиновой кислоты, наряду с малеиновой кислотой электролит содержит свинцовую соль малеиновой кислоты и ПАВ (поверхностно-активное вещество) электрохимическим путем. Исследовано влияние строения ПАВ в электролите, влияние концентрации соли свинца, а также влияние концентрации МК (малеиновой кислоты) на допустимую плотность тока. Допустимая плотность тока определялась в ячейке Хулла при температуре 28 °С. Установлено, что применение поверхностью активных веществ увеличивает допустимую плотность тока в 1,8 раза. Добавка свинцовой соли малеиновой кислоты повышает допустимую плотность тока в 2,6 раза. Показано, что увеличение концентрации малеиновой кислоты в 2,2 раза повышает допустимую плотность тока в 2 раза.

Ключевые слова: свинцово-кислотные аккумуляторы, малеиновая кислота, ПАВ, ячейка Хулла, допустимая плотность тока.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Актуальность проблемы переработки свинцово-кислотных аккумуляторов объясняется накоплением быстрыми темпами свинецсодержащих отходов, так как срок службы автомобильных кислотных аккумуляторных батарей, на изготовление которых расходуется большая доля свинца, не превышает пяти лет.

Одним из энергосберегающих и с меньшим загрязнением окружающей среды методом является переработка аккумуляторного лома электрохимическим способом [1].

Процесс электрохимической переработки заключается в электрохимическом растворении анодов, приготовленных из обработанных свинцово-кислотных аккумуляторов.

Преимуществами электрохимического метода, в качестве переработки свинцово-кислотных аккумуляторов, является то, что процесс ведется при умеренных температурах и атмосферном давлении и на конечной стадии получается металл достаточно высокой степени чистоты, а также оказывает меньшую нагрузку на окружающую среду.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известно, что для переработки отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов электрохимическим путем могут быть использованы различные электролиты, в основном используют такие электролиты, как фторборатные и кремнийфторидные [2]. Данные электролиты имеют ряд преимуществ, однако, дают токсичные выбросы в атмосферу соединений фтора и свинца, поэтому необходимо исследовать электролиты, дающие меньшую нагрузку на окружающую среду.

Известен электролит [3] состоящий из водного раствора малеиновой кислоты.

Кислота малеиновая – органическое соединение, с формулой HOOC-CH=CH-COOH . Двухосновная непредельная кислота. Получена малеиновая кислота впервые в результате перегонки яблочной кислоты. В наше время вещество получают искусственно гидролизом одноименного ангидрида [4].

В качестве электролита использовали водный раствор, состоящий из малеиновой кислоты, свинцовой соли малеиновой кислоты.

Самой медленной стадией процесса переработки и рафинирования свинца является скорость выделение металлического свинца на катоде. Получение качественного покрытия происходит при рабочей плотности тока ниже предельно допустимой.

ЦЕЛЬ

Повышение предельно допустимой скорости тока, ниже которой происходит качественное покрытие свинцом.

Повлиять на повышение скорости электролиза можно с помощью поверхностно-активных веществ. В качестве добавок могут применяться ПАВ: неионогенные, анионактивные и катионактивные.

Действие ПАВ на структуру осадка не объяснено до конца, на этот счет имеется несколько теорий. Согласно одной из них, действие ПАВ объясняется их адсорбцией на границе раздела металл-электролит, что приводит к блокированию отдельных граней кристаллов и повышению тем самым скорости образования центров кристаллизации, в результате чего осаждается мелкокристаллическое покрытие [5]. Согласно другой теории [6], коллоидные органические вещества образуют комплексы адсорбционного типа с разряжающимися ионами металлов, что приводит к увеличению поляризации, которая в отсутствие ПАВ при выделении свинца незначительна.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В качестве электролита использовали водный раствор, состоящий из малеиновой кислоты – 122 г/л, свинцовой соли малеиновой кислоты – 12,5 г/л (9,7 г/л по свинцу). В качестве добавок использовали желатину, ССБ (сульфитно-спиртовая барда), глицерин и этиленгликоль. Температура электролита – 28 °С. В качестве анода и катода использовали обезжиренные свинцовые пластинки. Для определения предельно допустимой плотности тока электролита на основе малеиновой кислоты использовали электрохимическую угловую ячейку Хулла емкостью 267 мл и углом катода по отношению к аноду 51° [7]. Расчет предельно допустимой плотности тока выполняли по уравнению, приведенному в работе [7].

Содержание компонентов электролитов и поверхностно-активных веществ, добавляемых в растворы, а также показатель допустимой плотности тока представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимая плотность тока в электролитах с добавками различных ПАВ

| № раствора | Наименование добавленного вещества | Количество добавленного вещества, г/л | Допустимая плотность тока, А/дм ² |
|------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1 | Без добавок | – | 125 |
| 2 | Желатина | 1 | 130 |
| 3 | ССБ | 1 | 200 |
| 4 | Глицерин | 3 | 125 |
| 5 | Этиленгликоль | 5 | 75 |
| 6 | Этиленгликоль+ССБ | 3/1 | 225 |

Зависимость предельной плотности тока от содержания различных ПАВ в электролитах на основе малеиновой кислоты представлены на рисунке 1.

Исследования показали, что наилучший результат дает введение в электролит ССБ, а также композиции этиленгликоль +ССБ.

Для сравнения представлены значения предельной плотности тока при использовании кремниево-фтористоводородного электролита [8], при концентрации кремнефтористоводородного свинца в электролите 100 г/л, кремнефтористоводородной кислоты – 25 г/л.

В таблице 2 представлена предельная плотность тока в кремнефтористоводородном электролите в зависимости от добавок различных ПАВ.

Зависимость предельной плотности тока от содержания различных ПАВ в электролитах на основе кремнефтористоводородной кислоты представлены на рисунке 2.

Анализируя вышеприведенные результаты, видно, что предельная плотность тока в кремнефтористоводородном электролите значительно выше (в 2 раза), чем в малеиновом.

Однако электролит на основе кремнефтористоводородной кислоты является токсичным, что связано с испарением кислоты и выделением в атмосферу фтористого водорода и четырехфтористого кремния, имеющих второй класс опасности.

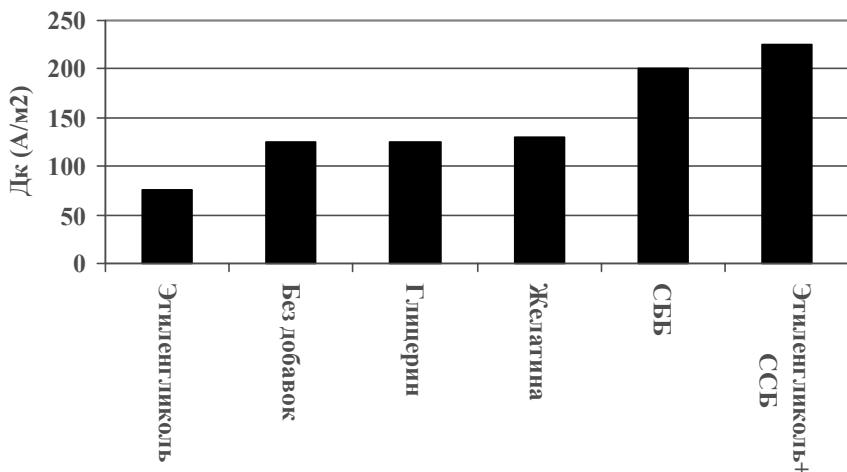


Рисунок 1 – Зависимость допустимой плотности тока от добавок различных ПАВ в малеиновом электролите

Таблица 2 – Допустимая плотность тока в кремнефтористоводородном электролите в зависимости от добавок различных ПАВ

| № раствора | Наименование добавленного вещества | Количество добавленного вещества, г/л | Допустимая плотность тока, A/dm^2 |
|------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | Без добавок | – | 174 |
| 2 | Желатина | 0,8 | 263 |
| 3 | ССБ | 1,0 | 519 |
| 4 | Глицерин | 5,0 | 251 |
| 5 | Этиленгликоль | 1,0 | 252 |
| 6 | Этиленгликоль+ССБ | 1/0,5 | 325 |

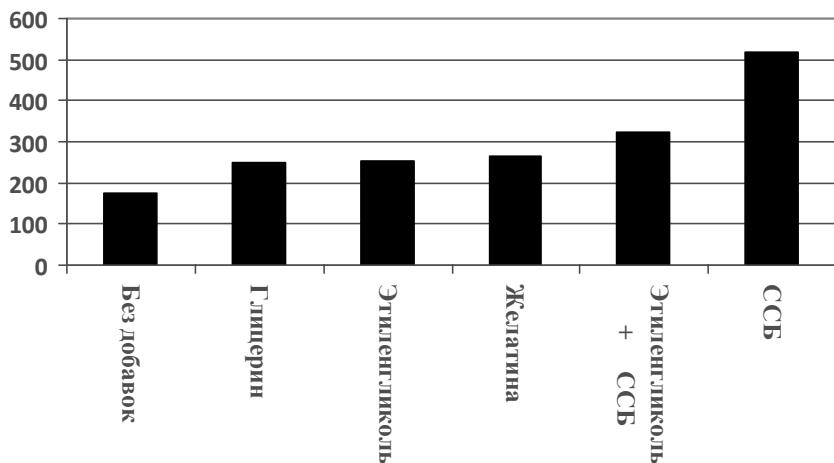
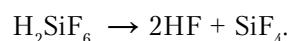


Рисунок 2 – Зависимость допустимой плотности тока от содержания различных ПАВ в кремнефтористоводородном электролите.



В свою очередь электролит на основе малеиновой кислоты не токсичен и не испаряется с выделением токсичных газов.

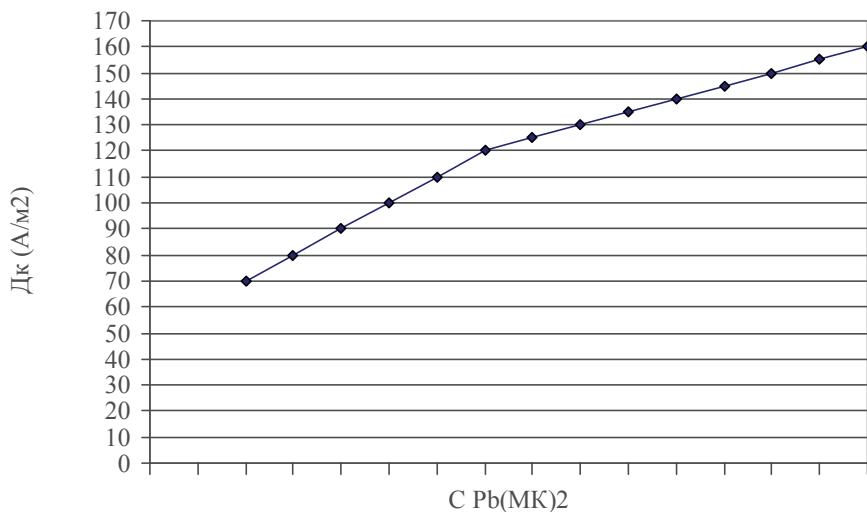
Также было проведено исследование зависимости допустимой плотности тока от содержания соли свинца в электролите. Для анализа был использован электролит, состоящий из малеиновой кислоты – 280 г/л, с изменением концентрации соли свинца, с добавлением ПАВ – ССБ – 1 г/л.

Изменение допустимой плотности тока при различном содержании свинцовой соли малеиновой кислоты представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Допустимая плотность тока в малеиновом электролите в зависимости от содержания свинцовой соли малеиновой кислоты

| № р-ра | Содержание свинцовой соли малеиновой кислоты, г/л | Допустимая плотность тока, А/дм ² |
|--------|---|--|
| 1 | 0 | 57 |
| 2 | 13,25 | 100 |
| 3 | 15,5 | 120 |
| 4 | 21,25 | 130 |
| 5 | 24,25 | 140 |
| 6 | 26,5 | 150 |

Зависимость допустимой плотности тока от содержания соли свинца в электролите представлена на рисунке 3.

**Рисунок 3** – Зависимость допустимой плотности тока от различного содержания соли свинца в малеиновом электролите.

Для определения влияния концентрации малеиновой кислоты на допустимую плотность тока было проведено исследование с использованием электролита, состоящего из свинцовой соли (по свинцу) 5 г/л, с различной концентрацией малеиновой кислоты, с добавлением ПАВ ССБ – 1 г/л.

Изменение допустимой плотности тока при различном содержании малеиновой кислоты представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Допустимая плотность тока в зависимости от концентрации малеиновой кислоты

| № р-ра | Содержание малеиновой кислоты, г/л | Допустимая плотность тока, А/дм ² |
|--------|------------------------------------|--|
| 1 | 138 | 100 |
| 2 | 161 | 110 |
| 3 | 226 | 125 |
| 4 | 284 | 143 |
| 5 | 310 | 150 |

Зависимость допустимой плотности тока от содержания соли свинца в электролите представлена на рисунке 4.

ВЫВОДЫ

Анализируя вышеприведенные данные, можно сделать вывод, что увеличение концентрации малеиновой кислоты в 2,2 раза повышает допустимую плотность тока в 2 раза. Установлено, что применение поверхностно-активных веществ увеличит скорость процесса электролиза.

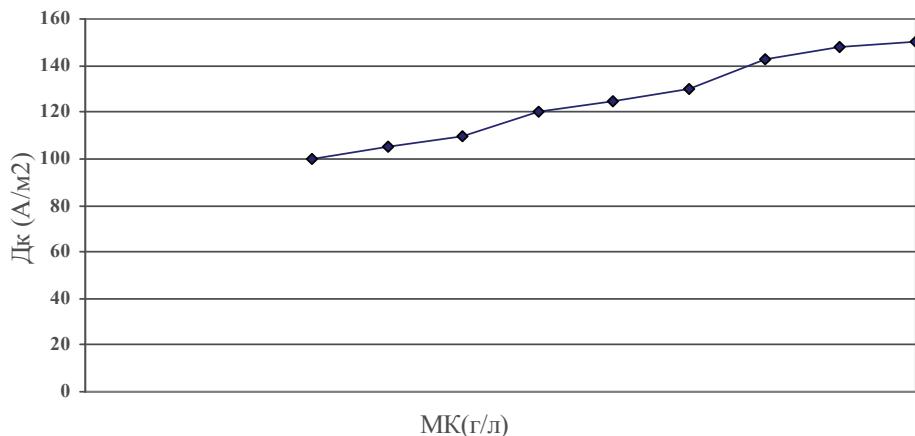


Рисунок 4 – Залежність дозволеної струмової густини від концентрації малеїнової кислоти.

В результаті розрахунків встановлено, що дозволена струмова густина зростає при додаванні 2 % кислоти на 2 %, з використанням ССБ на 16 % по відношенню до використання електроліту без ПАВ.

СПИСОК ЛИТЕРАУРЫ

1. Maja, M. Recycling of the lead-acid batteries: the Ginatta process [Текст] / M. Maja, N. Penazzi, M. Baundino, M. Ginatta // Journal of Power Sources. – 1990. – V. 31. – PP. 287–294.
2. Schmidt, Cordt Struktur und Eigenschaften von Kupferschichten bei der Abscheidung mit hohen stromdichten [Текст] / Cordt Schmidt // Galvanotechnik. – 1991. – 82, № 11. – P. 3800–3828.
3. Пат. 2353685 Россия МПК C22B13/00, C22B7/00, C25C1/18. Способ утилизации свинца [Текст] / Гаджимагомедовна Гасанова Фатима, Алиев Зазав Мустафаевич; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Дагестанский государственный университет. – № 2007137290/02 ; заяв. 08.10.07 ; опубл. 27.04.09, Бюл. № 12. – 4 с.
4. Молдавский, Б. Л. Малеиновий ангідрид і малеїнова кислота [Текст] / Б. Л. Молдавский, Ю. Д. Кернос. – Л. : [б. і.], 1976. – 706 с.
5. Лошкарев, М. А. О совместном действии добавок при катодном выделении металлов. Сообщение 1. Усиление торможения электродных процессов [Текст] / М. А. Лошкарев, Л. М. Бойченко, А. Ф. Нестеренко // Украинский химический журнал. – 1970. – Т. 36, № 6. – С. 616–621.
6. Стендер, В. В. Прикладная электрохимия [Текст] / В. В. Стендер. – Харьков : Изд-во Харьковского Ордена трудового Красного знамени государственного университета им. А. М. Горького, 1961. – 541 с.
7. Дикусар, А. И. Основы электрохимии и электрохимических технологий [Текст] : учеб. пособие / А. И. Дикусар, Ж. И. Бабанова, С. П. Ющенко. – Тирасполь : Изд-во ун-та, 2005. – 187 с.
8. Исаєва-Парцвания, Н. В. Викинги вредных веществ при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторов в электролитах на основе кремнефтористоводородной кислоты [Текст] / Н. В. Исаєва-Парцвания, А. И. Сердюк, А. Б. Ступин // Вісник Донецького університету. Серія А: природничі науки. – Донецьк. – 2005. – Вип. 2, част. 2 – С. 327–331.

Получено 08.10.2018

М. В. СУЛТАНОВА ^a, О. І. СЕРДЮК ^a, С. П. ЗИРЯНОВ ^b
 ПЕРЕРОБКА СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ В
 МАЛЕЇНОВОМУ ЕЛЕКТРОЛІТІ

^aДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^b Товариство
 з обмеженою відповідальністю «Муром»

Анотація. У роботі розглядається переробка свинцево-кислотних акумуляторів в електроліті на основі малеїнової кислоти, поряд з малеїновою кислотою електроліт містить свинцеву сіль малеїнової кислоти і ПАР (поверхнево-активна речовина) електрохімічним шляхом. Досліджено вплив будови ПАР в електроліті, вплив концентрації солі свинцю, а також вплив концентрації МК (малеїнової кислоти) на дозволену щільність струму. Дозволена щільність струму визначалася в комірці Хулла при температурі 28 °C. Встановлено, що застосування поверхнево-активних речовин збільшує дозволену щільність струму в 1,8 разу. Добавка свинцевої солі малеїнової кислоти підвищує дозволену щільність

струму в 2,6 разу. Показано, що збільшення концентрації малеїнової кислоти в 2,2 разу підвищує допустиму щільність струму в 2 рази.

Ключові слова: свинцево-кислотні акумулятори, малеїнова кислота, ПАР, комірка Хулла, допустима щільність струму.

MARIA SULTANOVA ^a, ALEXANDER SERDYUK ^a, SERGEY ZYRYANOV ^b

PROCESSING OF LEAD-ACID BATTERIES IN MALEIC ELECTROLYTE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Limited Liability Company «Murom»

Abstract. The paper considers the processing of lead-acid batteries in a maleic acid-based electrolyte, along with maleic acid, the electrolyte contains a lead salt of maleic acid and surfactant (surfactant) by electrochemical means. The influence of the structure of the surfactant in the electrolyte, the effect of the concentration of lead salt, as well as the effect of the concentration of MK (maleic acid) on the allowable current density, was studied. The permissible current density was determined in a Hull cell at a temperature of 28 °C. It is established that the use of surface active substances increases the permissible current density by 1.8 times. Addition of lead salt of maleic acid increases the allowable current density by 2.6 times. It was shown that an increase in the concentration of maleic acid by 2.2 times increases the permissible current density by a factor of 2.

Key words: lead-acid batteries, maleic acid, surfactant, Hull cell, allowable current density.

Султанова Мария Витальевна – магистрант 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.

Зырянов Сергей Павлович – директор ООО «Муром». Научные интересы: промышленная переработка свинец-содержащих отходов.

Султанова Марія Віталіївна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і утилізація промислових відходів.

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

Зирянов Сергій Павлович – директор ТОВ «Муром». Наукові інтереси: промислова переробка свинцевомісних відходів.

Sultanova Maria – Master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling and disposal of industrial waste.

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

Zyryanov Sergey – Director of Limited Liability Company «Murom». Scientific interests: industrial processing of lead-containing waste.

УДК 628.16

А. С. ТРЯКИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ИСХОДНОЙ ВОДЫ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ
ВОДООЧИСТКИ**

Аннотация. В статье рассматривается научное обоснование методики выбора расчетных показателей качества воды, применяемых при проектировании водопроводных очистных сооружений, на основании математико-статистической обработки гидрохимических показателей воды источника. Определены расчетные значения показателей качества, которые были выбраны в результате анализа воды источника. Разработана методика расчета минимальной продолжительности ряда данных по показателям качества исходной воды для подбора технологии очистки. На основании полученных величин расчетных показателей качества воды предложена рациональная технологическая схема очистки воды.

Ключевые слова: качество воды, очистка воды, показатели качества воды, водопроводные очистные сооружения, технологическая схема очистки воды, статистическая обработка данных.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Определяющее влияние на состав очистных сооружений водопровода оказывает расчетный состав воды в источнике водоснабжения. Показатели качества воды в поверхностных источниках обычно испытывают значительные колебания как по сезонам года, так и по годам наблюдений. Нормативные документы [3, С. 38], [7, С. 25] требуют назначать состав очистных станций водопровода по максимальным величинам показателей за все годы наблюдений, но не менее трех лет. Это требование приводит в ряде случаев к значительному удорожанию очистных станций при их строительстве.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Для снижения затрат при проектировании, строительстве или реконструкции водопроводных очистных сооружений требуется научно обоснованная методика выбора расчетных показателей качества воды, которые будут ниже своих максимальных значений. Но при этом необходимо сохранить санитарно-гигиеническую надежность разрабатываемых сооружений. В Украине детально не рассматривался вопрос определения расчетных показателей, которые используются для подбора технологической схемы очистки воды для питьевых целей. В России этим вопросом занимаются Ж. М. Говорова [2] и А. О. Родина [5].

Целью представленной работы является научное обоснование расчетного состава воды при выборе технологической схемы очистки на основании многолетних наблюдений.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В качестве объектов исследования были выбраны канал Северский Донец – Донбасс и Макеевская фильтровальная станция (МФС).

В работе рассматривались суточные и среднемесячные гидрохимические характеристики воды канала Северский Донец – Донбасс за период более десяти лет [6]. При выборе расчетных показателей качества воды первоначально рекомендуется проанализировать все доступные показатели и

выбрать из них те, которые являются наиболее значимыми при подборе технологии водоподготовки. Самыми основными показателями являются мутность и цветность воды, так по их значениям подбираются основные сооружения технологии очистки. Также выбираются все показатели качества, значения которых превышают ПДК для питьевой воды. В данном случае были выбраны показатели мутности, цветности, жесткости, перманганатной окисляемости и бактериальные показатели.

Далее для выбранных показателей качества были рассчитаны статистические параметры (таблица 1), выполнена проверка гипотез о законе распределения и построены кривые дифференциального и интегрального распределения [4]. В качестве примера приведены дифференциальные и интегральные функции распределения рядов наблюдений по показателям мутность и цветность (рис. 1, 2).

Таблица 1 – Результаты статистической обработки суточных показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс за период 2004–2011 гг.

| Показатель | Мода | Среднее значение | Медиана | Минимум | Максимум | Дисперсия | Стандартное отклонение | Коэффициент вариации |
|---|------|------------------|---------|---------|----------|-----------|------------------------|----------------------|
| Цветность, град | 16 | 16,68 | 16 | 5 | 48 | 11,3 | 3,36 | 20,13 |
| Мутность, мг/дм ³ | 0,58 | 3,92 | 3,03 | 0,47 | 35,37 | 10,8 | 3,29 | 84,05 |
| Жесткость, мг-экв/дм ³ | 6,7 | 7,09 | 7,1 | 5,4 | 9,3 | 0,6 | 0,76 | 10,75 |
| Перманганатная окисляемость, мг/дм ³ | 6 | 6,16 | 6,1 | 4,0 | 9,9 | 0,5 | 0,73 | 11,93 |
| ОМЧ при 37 °C | 110 | 377 | 180 | 11 | 3700 | 168 880 | 411 | 108,9 |
| Коли-индекс | 59 | 655 | 240 | 19 | 9900 | 848 810 | 921 | 140,6 |

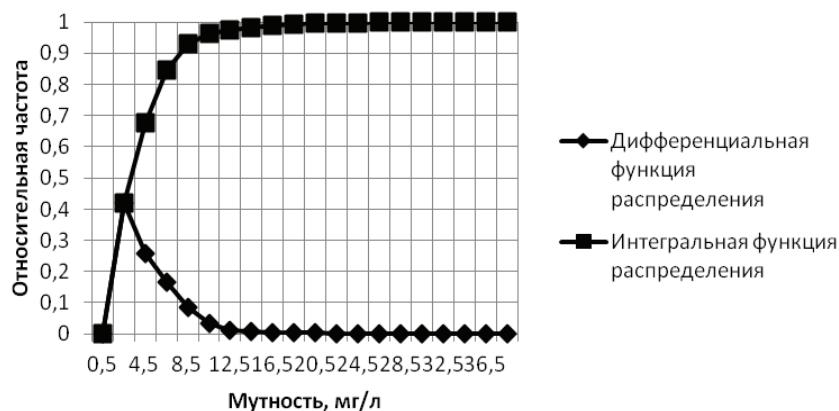


Рисунок 1 – Дифференциальная и интегральная функции распределения показателя мутность.

Кривая дифференциального распределения показателя мутность аппроксимируется следующим уравнением (коэффициент корреляции $r = 0,986$, среднеквадратическое отклонение $S = 0,0205$):

$$y = \frac{-0,0108 + 0,0316x}{1 - 0,6110x + 0,1105x^2} \quad (1)$$

Кривая интегрального распределения показателя мутность аппроксимируется следующим уравнением ($r = 0,9993$, $S = 0,0105$):

$$y = 1,1726(0,8542 - e^{-0,2954 \cdot x}). \quad (2)$$

Кривая дифференциального распределения показателя цветность аппроксимируется следующим уравнением ($r = 0,722$, $S = 0,0318$):

$$y = -0,201 + 0,0487x - 0,0029x^2 + 6,4132 \cdot 10^{-5}x^3. \quad (3)$$

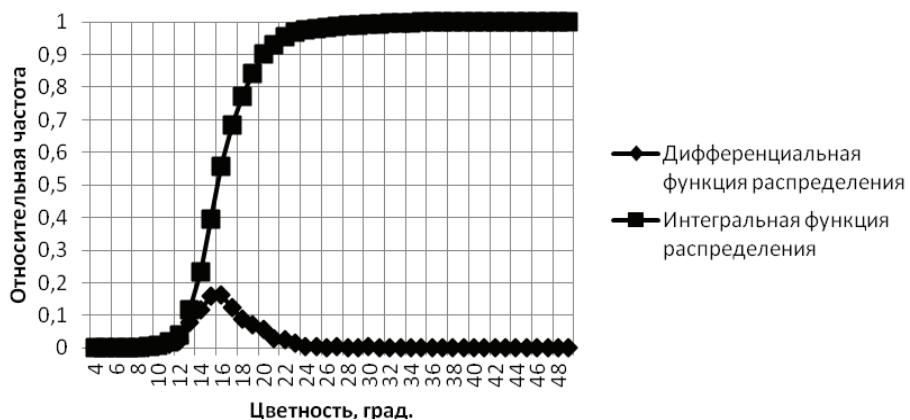


Рисунок 2 – Дифференциальная и интегральная функции распределения показателя цветность.

Кривая интегрального распределения показателя цветность аппроксимируется следующим уравнением ($r = 0,9993$, $S = 0,0149$):

$$y = \frac{0,9921}{1 + 21318,776 \cdot e^{-0,6296 \cdot x}}. \quad (4)$$

Проверку гипотезы о законе распределения генеральной совокупности можно осуществить, используя критерий Пирсона [1]. По итогам расчетов цветность, жесткость, перманганатная окисляемость распределены в соответствии с нормальным законом, мутность, ОМЧ и коли-индекс – в соответствии с экспоненциальным законом. Зная закон распределения, можно реконструировать ряд данных при недостаточности значений или прогнозировать будущие значения показателей качества воды.

Затем по построенным кривым интегрального распределения были определены расчетные значения каждого показателя с различными величинами обеспеченности, которые наиболее широко используются в науке и технике (таблица 2).

Таблица 2 – Расчетные значения показателей качества воды при различной величине обеспеченности

| Показатель | Обеспеченность, % | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| | 15 | 10 | 5 | 1 |
| Цветность, град | 18,7 | 19,5 | 20,8 | 25,7 |
| Мутность, мг/дм ³ | 7,0 | 8,3 | 10,6 | 15,7 |
| Жесткость, моль/дм ³ | 7,9 | 8,1 | 8,4 | 8,8 |
| Окисляемость, мг/дм ³ | 6,7 | 6,9 | 7,2 | 9,0 |
| ОМЧ при 37 °C | 740 | 900 | 1 180 | 1 890 |
| Коли-индекс | 1 220 | 1 500 | 1 990 | 4 200 |

Из таблицы 2 видно, что даже при обеспеченности 1 % полученные значения показателей качества воды, за исключением жесткости и окисляемости, практически в два раза меньше своих максимальных значений. Если для выбора расчетного состава воды принять обеспеченность 1 %, то в качестве расчетных значений будут выбраны значения меньше максимальных, что приведет к изменению состава очистных сооружений и снижению затрат на строительство и, возможно, эксплуатацию водопроводных очистных сооружений.

Для того, чтобы определить расчетные значения показателей качества воды, необходимо знать минимальную продолжительность периода, за который необходимо брать данные по качеству воды. В реальных условиях не всегда в распоряжении проектировщиков имеется необходимое количество данных, поэтому появляется необходимость определения минимальной продолжительности ряда наблюдений, которая сможет отобразить истинное колебание показателей качества воды во времени. Для этого в работе предлагается рассмотреть изменение величин квантилей распределения с вероятностью 0,95 (5 % квантилей) в зависимости от продолжительности рядов наблюдений.

На основании проведенного ранее исследования гидрохимических показателей качества воды были рассчитаны 5 % квантилей рядов наблюдений по всем рассматриваемым показателям. Значения 5 % квантилей были рассчитаны вначале для ряда наблюдений продолжительностью в один год, затем для ряда наблюдений продолжительностью в два года, и так далее до продолжительности ряда данных в одиннадцать лет (таблица 3).

Таблица 3 – Значения квантилей распределения с вероятностью 0,95

| Продолжительность, лет | 5 % квантилей по показателям качества | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|-------------|
| | цветность, град | мутность, мг/дм ³ | жесткость, мг-ЭКВ/дм ³ | перманганатная окисляемость, мг/дм ³ | ОМЧ, к-во бактерий/см ³ | коли-индекс |
| 1 | 16 | 3 | 7,3 | 6,2 | 52 | 110 |
| 2 | 19,4 | 13,86 | 7,88 | 7 | 980 | 840 |
| 3 | 20,8 | 13,26 | 7,8 | 7,22 | 1 068 | 1 280 |
| 4 | 27,2 | 13,14 | 8,04 | 7,46 | 1 100 | 1 360 |
| 5 | 25 | 13,02 | 8,176 | 7,36 | 1 052 | 2 360 |
| 6 | 22 | 12,9 | 8,2 | 7,3 | 980 | 2 300 |
| 7 | 21,4 | 12,54 | 8,228 | 7,3 | 980 | 2 240 |
| 8 | 21 | 12,78 | 8,2 | 7,38 | 974 | 2 200 |
| 9 | 21 | 12,42 | 8,2 | 7,32 | 956 | 2 200 |
| 10 | 21 | 11,98 | 8,2 | 7,3 | 946 | 2 040 |
| 11 | 21 | 11,5 | 8,2 | 7,3 | 980 | 2 200 |

Если на основании полученных данных построить графики, отображающие изменение 5 % квантилей распределения в зависимости от продолжительности ряда данных, то можно увидеть, что величины 5 % квантилей всех рассмотренных показателей в значительной мере стабилизируются при продолжительности ряда в семь лет. При дальнейшем увеличении продолжительности ряда данных более семи лет происходит незначительное колебание величин 5% квантилей. В качестве примера приведена кривая изменения 5 % квантилей серии наблюдений по показателю цветность в зависимости от продолжительности ряда (рисунок 3).

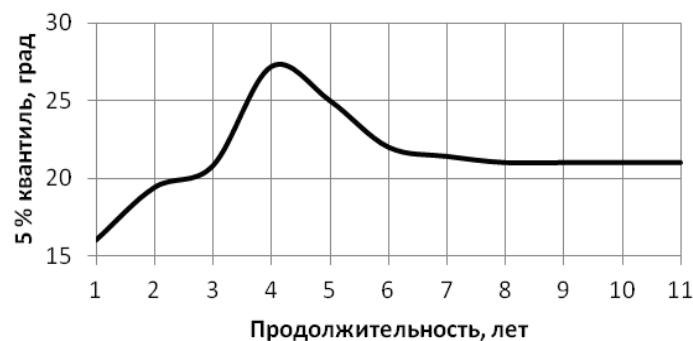


Рисунок 3 – Изменение 5 % квантилей серии наблюдений по показателю цветность в зависимости от продолжительности ряда.

Таким образом, минимальная продолжительность ряда наблюдений по качеству воды канала Северский Донец – Донбасс для определения расчетных значений при выборе технологии очистки воды составляет семь лет. Ряды наблюдений продолжительностью менее семи лет будут лишены достаточного обоснования и не позволяют определить достоверные расчетные значения показателей качества воды.

ВЫВОДЫ

С целью поддержания санитарно-гигиенической надежности очистных сооружений рекомендуется выбирать расчетные значения показателей качества исходной воды с обеспеченностью 1 % при наличии одного источника водоснабжения. При использовании двух источников водоснабжения, в

зависимости от качества воды в них, водопроводные очистные станции могут проектироваться на обеспеченность показателей качества воды 5 % или даже 10 %. Предложенная методика выбора расчетных показателей качества предполагает наличие данных многолетних наблюдений за качеством исходной воды.

В соответствии с выбранными расчетными значениями показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс предложена технологическая схема с двухступенчатой очисткой на контактных префильтрах и двухслойных скорых фильтрах (гранулированный активированный уголь – кварцевый песок), с обеззараживанием гипохлоритом натрия и умягчением части воды на натрий-карионитных фильтрах [8, 9, 10]. Данная технологическая схема очистки является наиболее рациональной для качества воды канала Северский Донец – Донбасс и при любых колебаниях качества исходной воды способна давать очищенную воду, соответствующую требованиям действующих санитарно-гигиенических нормативов.

Был выполнен расчет экономической эффективности применения разработанной научно обоснованной методики выбора расчетного состава воды, применяемой при проектировании станций водоочистки, путем сравнения двух вариантов технологических схем очистки воды: действующая технологическая схема МФС, которая является характерной для воды канала Северский Донец – Донбасс; предложенная рациональная технологическая схема. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) по первому варианту с применением действующей схемы МФС составил 49,2 млн руб., ЧДД по второму варианту с применением научно обоснованной схемы составил 66,7 млн руб. В результате сравнения этих величин предпочтение отдается второму варианту научно обоснованной технологической схемы водопроводных очистных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов [Текст] / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2003. – 479 с.
2. Говорова, Ж. М. Обоснование и разработка технологий очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук : 05.23.04 / Говорова Жанна Михайловна. – Москва : [б. и.], 2004. – 389 с.
3. ДБН В.2.5-74:2013. Державні будівельні норми. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди [Текст]. – Уведено вперше ; чинні від 2014-01-01. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
4. Найманов, А. Я. Обоснование расчетного состава воды при выборе технологической схемы очистки на основании многолетних наблюдений [Текст] / А. Я. Найманов, А. С. Трякина // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 2015-5(115) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 59–67.
5. Родина, А. О. Обоснование показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением теории риска [Текст] : дисс. ...канд. техн. наук : 05.23.04 / Родина Алла Олеговна. – Вологда : [б. и.], 2005. – 153 с.
6. Сатин, И. В. Исследование гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс [Текст] / И. В. Сатин, А. С. Трякина // Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури. – 2014. – Вип. 2014-5(109) Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 5–11.
7. СП 31.13330.2012 Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – М. : Минрегион России, 2012. – 124 с.
8. Трякина, А. С. Разработка рациональной технологии водоочистки с применением научно обоснованных расчетных показателей качества исходной воды [Текст] / А. С. Трякина // Научный журнал «Записки горного института». – Санкт-Петербург : С-Пб горн. ун-т, 2017. – Т. 227. – С. 608–612.
9. Somani, S. B. Disinfection of water by using sodium chloride and sodium hypochlorite [Text] / S. B. Somani, Dr. N. W. Ingole , Dr. N. S. Kulkarni // Journal of Engineering Research and Studies. – 2011. – Vol. II, Issue IV. – P. 40–43.
10. Tansel, B. New Technologies for Water and Wastewater Treatment: A Survey of Recent Patents [Text] / B. Tansel // Recent Patents on Chemical Engineering. – 2008. – № 1. – P. 17–26.

Получено 11.10.2018

А. С. ТРЯКІНА
НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНОВИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ
ВИХІДНОЇ ВОДИ ПРИ ВИБОРІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ
ВОДООЧИЩЕННЯ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглядається наукове обґрунтування методики вибору розрахункових показників якості води, що застосовуються при проектуванні водопровідних очисних споруд, на основі математико-статистичного опрацювання гідрохімічних показників води джерела. Визначено розрахункові

значення показників якості, які були обрані в результаті аналізу води джерела. Розроблено методику розрахунку мінімальної тривалості ряду даних за показниками якості вихідної води для підбору технології очищення. На основі отриманих величин розрахункових показників якості води запропонована раціональна технологічна схема очищення води.

Ключові слова: якість води, очищення води, показники якості води, водопровідні очисні споруди, технологічна схема очищення води, статистичне опрацювання даних.

ALYONA TRYAKINA

SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF CALCULATING INDICATORS OF THE
QUALITY OF INITIAL WATER FOR CHOICE THE TECHNOLOGICAL WATER
PURIFICATION SCHEME

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article deals with the scientific justification of the methodology for selecting the calculated water quality indicators, used in the design of water treatment plants, based on the mathematical and statistical processing of hydrochemical indicators of water sources. The calculated values of the quality indicators that were selected as a result of the analysis of the source water were determined. A methodology for calculating the minimum duration of data of the quality of source water for the selection of purification technologies was developed. Based on the obtained values of the calculated water quality indicators, a rational technological scheme of water purification is proposed.

Key words: water quality, water purification, water quality indicators, water treatment plants, technological water purification scheme, statistical data processing.

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.

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.

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

УДК 504.3.054:69.03:69.05

Т. С. БАШЕВАЯ, А. А. ШЕЙХ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ИЗМЕНЕНИЕ ЭМИССИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ АРХИТЕКТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗВОДИМЫХ
ЗДАНИЙ**

Аннотация. В работе изучено изменение величины выбросов загрязняющих веществ на строительной площадке при проведении строительных операций при увеличении высоты возводимых объектов. Определены факторы, влияющие на величину эмиссии в процессе строительства. Приведены результаты расчетов величин валовых выбросов при осуществлении земляных работ, работ дорожно-строительной техники, сварочных работ, работ по механической обработке металла, покрасочных и отделочных работ для объектов различной этажности и площади застройки. Установлены математические зависимости массы выбросов от высоты строительного объекта и его площади.

Ключевые слова: экологическая безопасность, строительство, этажность зданий, загрязнение атмосферы, валовые выбросы, земляные работы, строительные операции.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современное жилое строительство имеет несколько отличительных черт: рост этажности, что связано с притоком населения в крупные города и экономически развитые районы; усложнение архитектурных и дизайнерских решений; а также строительство «внутри» существующих жилых районов. Нередко возникают ситуации, когда участок застройки настолько ограничен существующими жилыми постройками, что остро встает вопрос об уровне безопасности осуществляющей строительство-монтажной деятельности на население близ расположенных жилых домов. Выделяют два основных тренда, которые воцаряются в мировом строительстве на ближайшие 10–20 лет – это архитектурная необычность высотных зданий и экологичность проектов [1]. Чаще всего, когда речь идет об «экологичности строительства», имеется в виду создание среды обитания, максимально приближенной к природной, внутри «стальных пещер» мегаполисов [1], а не создание строительных технологий с минимальным воздействием на окружающую среду.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В соответствии с законодательством при строительстве объектов гражданского или промышленного назначения обязательно соблюдаются требования в области охраны окружающей среды, в частности охраны атмосферного воздуха [2]. При этом независимо от высотности здания, на сегодняшний день в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 строительная площадка не классифицируется и ориентировочная санитарно-защитная зона для нее не устанавливается. Это обосновывается тем, что строительная площадка является временным объектом и его воздействие ограничено на окружающую среду нормативным сроком строительства, который чаще всего не превышает 1–2 года. Выбросы в атмосферный воздух носят непродолжительный характер и являются в основном неорганизованными, так как могут перемещаться по стройплощадке в период осуществления строительно-монтажных работ. Следовательно, независимо от высоты возводимого объекта, его архитектурной и конструктивной сложности границы воздействия определяются утвержденными размерами строительной площадки. Единственное условие, выдвигаемое в законодательных документах к строительному производству, – это требование, чтобы «уровни создаваемого загрязнения за пределами промышленной площадки не превышали 0,1 ПДК и/или ПДУ» [3].

© Т. С. Башевая, А. А. Шейх, 2018

Ввиду того, что каждое возводимое здание имеет свои отличительные архитектурно-технические характеристики, такие как высота, ширина, этажность, размеры в плане, строительный объем и т. д., то они в процессе строительства по-разному оказывают негативное воздействие на окружающую среду, в частности на атмосферный воздух [4]. Степень воздействия на ОС также зависит от материалов, применяемых для строительства, от технологической оснащенности строительного производства, типа и качества строительных машин, механизмов и транспортных средств, типов и мощности их двигателей и других факторов. Немалое значение воздействия на природу оказывает совершенство организации и технологии производства [5, 6]. Установлено [7], что при строительстве зданий наибольшее количество выбросов загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферный воздух при работе спецтехники на стройплощадке и колеблется в пределах 55,22...79,01 %.

ЦЕЛЬ

Изучение влияния высоты строящегося здания на величину воздействия на атмосферный воздух.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для анализа изменения эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух в процессе нового строительства были изучены проекты возведения пяти жилых зданий, которые отличались друг от друга этажностью: 6, 8, 12, 15 и 25-этажные здания [8]. Обязательным условием для анализа было то, что анализируемые объекты находились в одинаковых климатических условиях. На рисунке 1 представлены исследуемые здания, их архитектурно-технические характеристики приведены в таблице 1.

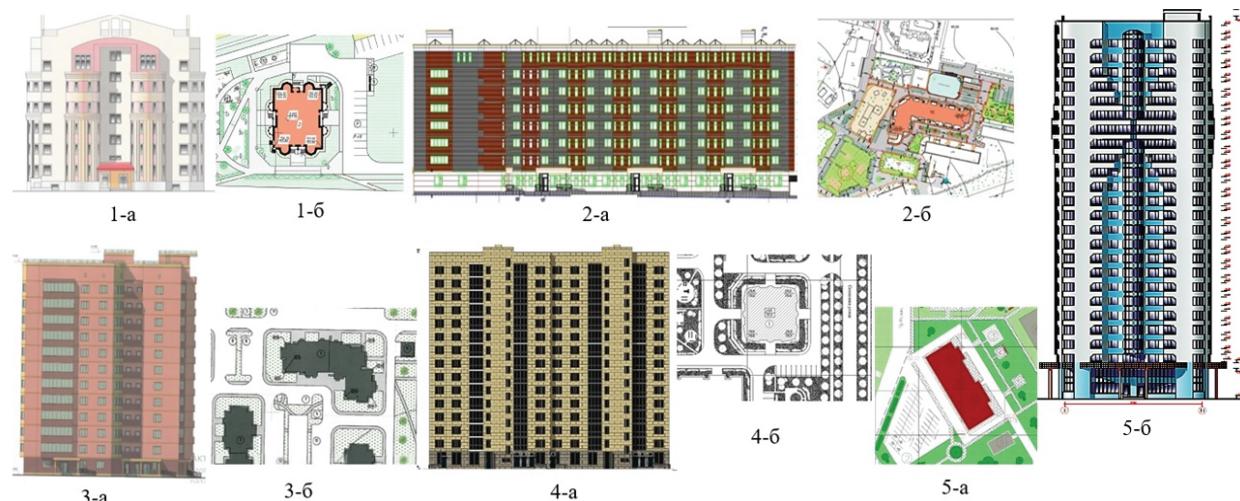


Рисунок 1 – Исследуемые жилые здания: а – фасад здания, б – генеральный план; 1 – 6-ти этажное здание, 2 – 8-этажное здание, 3 – 12-этажное здание, 4 – 15-этажное здание, 5 – 25-этажное здание.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых объектов

| Этажность здания | Размеры в плане, м | Высота здания, м | Площадь застройки, м ² | Площадь участка, м ² | Строительный объем, м ³ | Время строительства, день |
|------------------|--------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 6 | 20,5×25,1 | 23,78 | 643,4 | 4 179 | 17 636 | 300 |
| 8 | 92,8×48,8 | 28,92 | 1 226,5 | 63 000 | 34 328 | 336 |
| 12 | 30,8×49,4 | 41,00 | 953,0 | 11 714 | 39 073 | 395 |
| 15 | 17,0×56,7 | 53,57 | 806,4 | 16 125 | 42 739 | 438 |
| 25 | 27,6×27,6 | 86,50 | 930,0 | 9 410 | 62 694 | 572 |

В ходе исследования на 5 строительных площадках были установлены основные неорганизованные источники воздействия на атмосферный воздух [4, 6, 9]:

– земляные работы, включающие в себя работы по инженерной подготовке территории строительства (устройство и выравнивание площадки, рытье траншей и котлованов, выемочно-погрузочные работы, устройство временных дорог);

- погрузочно-разгрузочные работы (пересыпка пылящих материалов в склады-хранилища);
- автотранспорт, осуществляющий доставку стройматериалов на стройплощадку (самосвалы, грузовые машины);
- дорожно-строительная техника (экскаваторы, погрузчики, бульдозеры, монтажные краны, тракторы);
- работы по механической обработке металла и сварке;
- отделочные работы с использованием лакокрасочных и других материалов, содержащих летучие компоненты, внутри и снаружи жилых домов, зданий, сооружений, оборудования и конструкций.

Для расчета величины выбросов, поступающих в атмосферный воздух от источников расположенных на строительной площадке, использовались методики, утвержденные на законодательном уровне, в которых содержится порядок расчета выбросов от отдельных процессов и механизмов [10–17]. На основании приведенных методик [10–17] были рассчитаны максимально разовые и валовые выбросы загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух. При расчете значений валовых выбросов в атмосферу были определены годовые массы следующих веществ, образующихся в процессе возведения зданий: дизельезо триоксид, марганец и его соединения, хром, азота диоксид, азота оксид, сажа, сера диоксид, углерод оксид, фтора газообразные соединения, фториды плохо растворимые, диметилбензол, бензин, керосин, уайт-спирит, взвешенные вещества, пыль неорганическая: $\text{SiO}_2 > 70\%$.

Анализ полученных расчетным путем значений валовых выбросов загрязняющих веществ для возводимых зданий различной этажности приведен на рисунке 2.

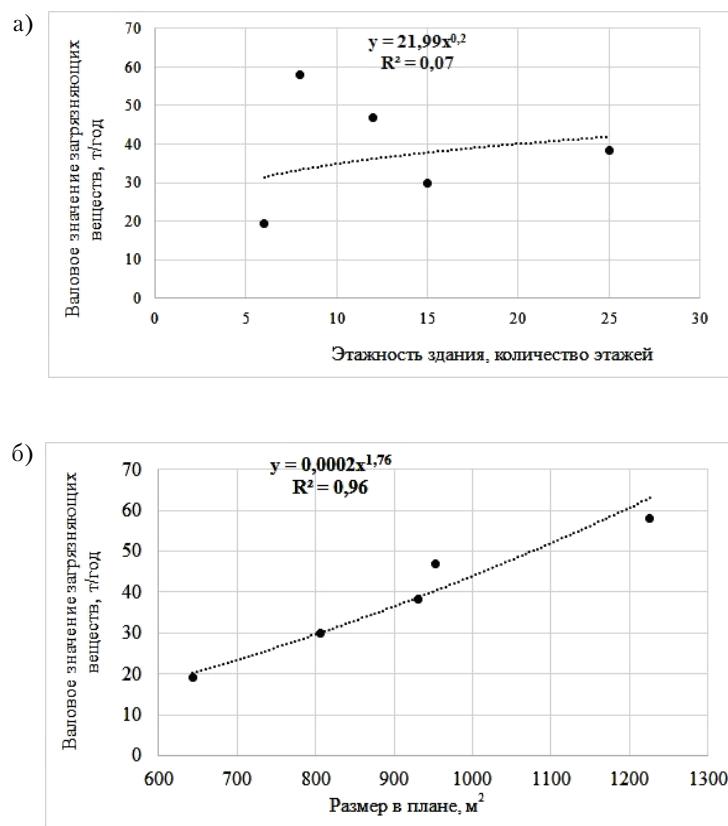


Рисунок 2 – Зависимость изменения валовых выбросов от этажности зданий (а) и размера в плане (б).

Для пяти исследуемых строительных объектов можно сказать, что величина валовых выбросов в меньшей мере зависит от увеличения высоты строящегося здания (рисунок 2а), а в большей степени – от площади застройки (рисунок 2б). Это объясняется тем, что основное количество выбросов приходится на выбросы пыли при осуществлении земляных работ. Увеличение количества выбросов в атмосферу с увеличением размеров строящегося объекта в плане происходит по степенной зависимости $y = 0,0002x^{1.76}$.

Диаграммы сравнительного анализа выбросов по видам строительных работ (рисунок 3) показывают, что наиболее массовые выбросы загрязняющих веществ происходят при земляных работах, и не наблюдается прямая зависимость эмиссии от высоты строительного объекта (рис 3а). Это связано с тем, что основным фактором, влияющим на количество выбросов пыли при земляных работах, является количество пересыпаемого грунта (породы) при выемочно-погрузочных операциях, а данный показатель на прямую зависит от величины размеров котлована и размера здания в плане.

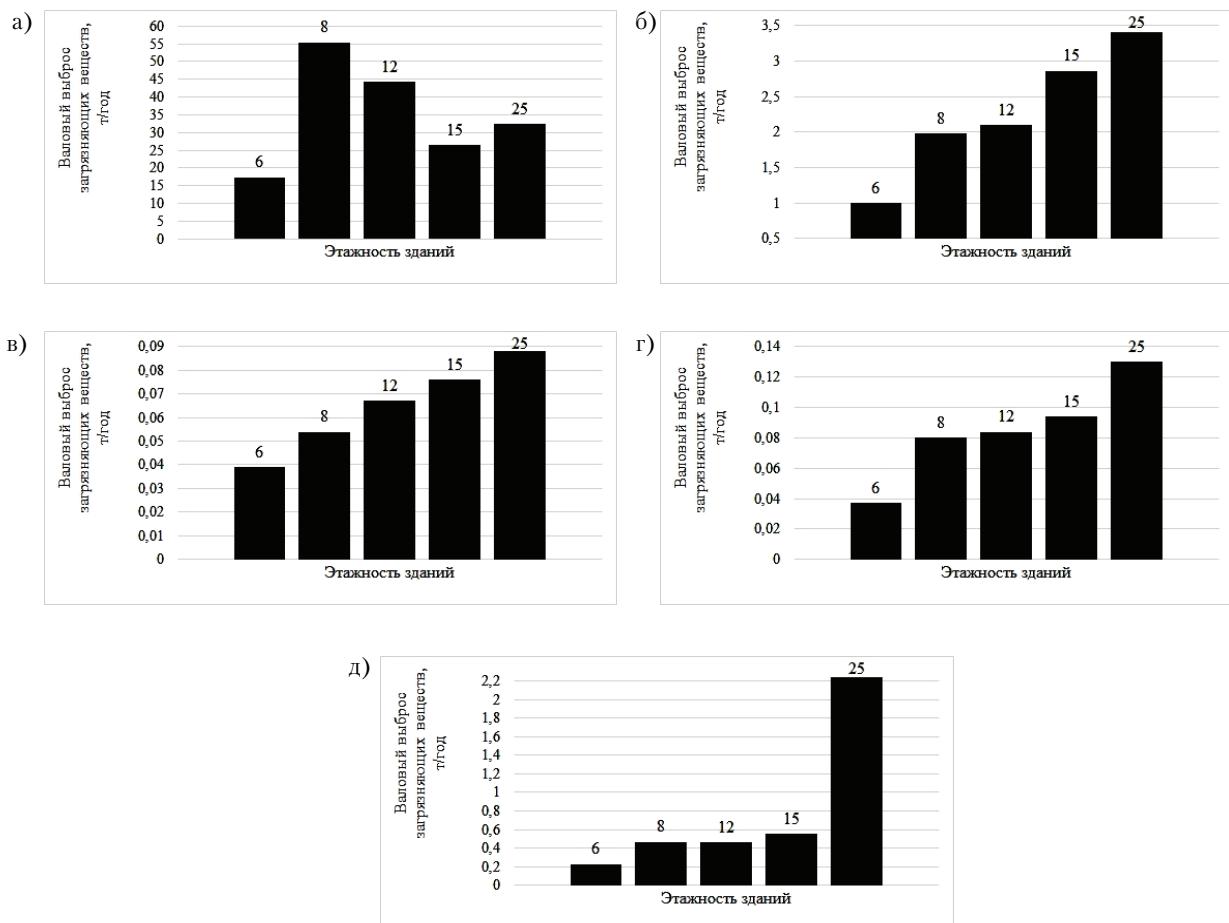


Рисунок 3 – Сравнительный анализ валовых выбросов загрязняющих веществ исследуемых объектов при проведении: а – земляных работ; б – работе дорожно-строительной техники; в – сварочных работ; г – работе по механической обработке металла; д – покрасочных и отделочных работ.

Анализ полученных расчетным путем данных показал, что отмечена четкая зависимость (рисунок 3 б, в, г) увеличения количества выбросов загрязняющих веществ с увеличением этажности строящегося здания для сварочных работ, работ по механической обработке металла, а также для работы строительной техники. Например, сравнивая проекты возведения 6- и 25-этажных зданий можно сделать вывод, что происходит увеличение валовых выбросов, образующихся при работе дорожно-строительной техники – в 3,5 раза, при проведении сварочных работ – в 2,5 раза, при проведении работ по механической обработке металла – в 3,5 раза. Непропорциональное увеличение эмиссии при проведении покрасочных и отделочных работ и резкое увеличение выбросов в 9 раз для 25-этажного здания объясняется тем, что основным фактором, влияющим на эмиссию в данных строительных операциях, являются функциональное назначение здания, а также применяемые архитектурные и дизайнерские решения.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения исследования определены зависимости величины эмиссии загрязняющих веществ при проведении земляных работ, пересыпке пылящих материалов, работе дорожно-строительной

техники, сварочных работах, работах по механической обработке металлов, покрасочных и отделочных работах для строительных объектов различной высоты и площади застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варфоломеева, А. Что с недвижимостью? [Текст] / А. Варфоломеева // Вестснаб: Отраслевой промышленный журнал. – 2013. – № 25(243). – С. 10–13.
2. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Закон ДНР от 30.04.2015 г. № 38-ІНС // Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при главе Донецкой Народной Республики. – 2015. – 68 с. – Режим доступа : http://gkecopoldnr.ru/zakon_38-ins_30042015/.
3. Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 03.03.2018 № 222 // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации. – 2018. – 10 с. – Режим доступа : <http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-03032018-n-222-ob-utverzhdenii/>.
4. Блинов, В. А. Адаптация высотной застройки в структуре современного города [Текст] / В. А. Блинов // Градостроительство: академический вестник. – Екатеринбург, 2010. – С. 18–24.
5. Ежова, В. Ю. Влияние строительства на окружающую среду и мероприятия по борьбе с негативными воздействиями [Текст] / В. Ю. Ежова, А. Н. Гречнева // Материалы VII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум 2015» / Российский государственный социальный университет. – М. : [б. и.], 2014. – С. 123–129.
6. The control of dust and emissions during construction and demolition supplementary planning guidance [Text] / Celeste Giusti, Jane Carlsen, Katie Watson, etc. – London : Published by Greater London Authority City Hall The Queen's Walk More, 2014. – 113 p.
7. Башевая, Т. С. Влияние параметров возводимых жилых зданий на уровень загрязнения атмосферного воздуха [Текст] / Т. С. Башевая, А. А. Шейх // Инновации в строительстве-2018 : материалы международной научно-практической конференции, г. Брянск, 20–22 ноября 2017 г. – Брянск : БГИТУ, 2018. – С. 7.
8. Башевая, Т. С. Анализ факторов, влияющих на величину выбросов в атмосферный воздух при возведении жилых зданий [Текст] / Т. С. Башевая, А. А. Шейх // Образование. Наука. Производство : сборник докладов X международного молодежного форума. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2018. – С. 5.
9. Красновский, Б. М. Промышленное и гражданское строительство [Текст] / Б. М. Красновский. – М. : АСВ, 2013. – 623 с. – С. 10–12.
10. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Текст]. – Введ. в действие 2004-12-24 / [Н. С. Буренин, М. В. Волкодаева, А. Ф. Губанов, О. В. Двинянина, Н. Н. Звягина и др.]. – СПб. : НИИ Атмосфера, 2005. – 166 с.
11. 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.
12. 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.
13. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (на основе удельных показателей) [Текст]. – Введ. 2015-09-01 / Научно-исследовательский институт по охране атмосферного воздуха. – СПб. : НИИ Атмосфера, 2015. – 37 с.
14. 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.
15. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (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. – 65 с.
16. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для авторемонтных 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. – 67 с.
17. 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 12.10.2018

Т. С. БАШЕВА, О. О. ШЕЙХ

ЗМІНА ЕМІСІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ЗАЛЕЖНО ВІД
АРХІТЕКТУРНО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬ, ЩО
СПОРУДЖУЮТЬСЯ

ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі вивчено змінення величини викидів забруднюючих речовин на будівельному майданчику під час проведення будівельних операцій при збільшенні висоти об'єктів, що споруджуються. Визначено фактори, що впливають на величину емісії в процесі будівництва. Наведено результати розрахунків величин валових викидів при здійсненні земляних робіт, робіт дорожньо-будівельної техніки, зварювальних робіт, робіт з механічної обробки металу, фарбувальних та оздоблювальних робіт для об'єктів різної поверховості та площин забудови. Встановлено математичні залежності маси викидів від висоти будівельного об'єкта і його площини.

Ключові слова: екологічна безпека, будівництво, поверховість будівель, забруднення атмосфери, валові викиди, земляні роботи, будівельні операції.

TATIANA BASHEVAYA, ALEXANDRA SHEIKH

THE CHANGE IN THE EMISSION OF POLLUTANTS DEPENDING ON THE
ARCHITECTURAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF BUILDINGS
UNDER CONSTRUCTION

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article examined the change in the quantity of pollutant emissions at a construction site with increasing height of buildings. The factors that influence the quantity of emissions in the construction process are determined. Here are the results of calculations of gross emissions in the implementation of excavation, road construction equipment, welding, metal machining, painting and finishing work for objects of different heights and building area. We have established mathematical dependences of the mass of emissions on the height of a construction object and its area.

Key words: environmental safety, construction, height of buildings, air pollution, gross emissions, earthworks, construction operations.

Башевая 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, доцент кафедри техносферної безпеки ДОУ 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 Олександровна – асистент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення екологічної безпеки в будівництві; оцінка рівня впливу на атмосферне повітря процесу зведення будівель.

Tatiana Bashevaya – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, 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.

Alexandra Sheikh – 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 536.24

В. Н. КАЧАН, А. В. ЛУКЬЯНОВ, Е. В. КОНОПАЦКИЙ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ТЕОРИЯ РАСЧЁТА ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ЖАРОТРУБНЫХ
КОТЛОАГРЕГАТАХ С ТУПИКОВОЙ ТОПКОЙ**

Аннотация. Предложена оригинальная методика геометрического моделирования теплового баланса между топочной и конвективной частями жаротрубного котлоагрегата малой мощности, которая позволяет выполнять тепловой расчёт. Путём регулировки месторасположения горелки в топочной части котла можно достигать необходимую мощность и максимальный КПД при использовании топлива с разной степенью теплоты сгорания. В основу такого расчёта положено выделение четырех объёмов (зон) нахождения продуктов сгорания в топочной части котлоагрегата. В первой (основной) и второй (торцевой) зонах топки всегда аккумулируется половина суммарной теплоты сгорания топлива (геометрически это ловушка теплоты). За счёт третьей зоны обеспечивается оптимальный коэффициент интегрального теплопереноса (регулировка) в топочной части, а также заданная паспортная мощность и КПД котла. Четвёртая зона определяет остаточную мощность и КПД, достигаемую в конвективной части котлоагрегата.

Ключевые слова: коэффициент интегрального переноса, тепловой баланс, жаротрубный котлоагрегат, конвективная часть, топочная камера, ядро факела, теплота сгорания топлива, зоны теплопередачи.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Среди котельных установок небольшой мощности широкое распространение получили жаротрубные котлоагрегаты. При их эксплуатации иногда возникает необходимость использования различных видов топлива, например газа с разной калорийностью. В таких условиях жаротрубный котлоагрегат требует дополнительной настройки для обеспечения необходимой мощности и максимального КПД, которых часто не удается достигнуть из-за изменения (перекоса) теплового баланса между топочной и конвективной частью котла. Т. е. возникает такая ситуация, при которой для достижения необходимой мощности требуется изменение конструктивных элементов конвективной части жаротрубного котлогрегата (например, количества и диаметра конструктивных труб). В некоторых случаях эта проблема может быть решена правильной настройкой горелки. Однако такая настройка может изменяться лишь в небольших пределах и потому подходит для тех видов топлива, которые имеют близкие значения по калорийности. Здесь следует отметить, что по данным [1] на постсоветском пространстве используется около 40 газопроводов различных месторождений с различным составом газа и, следовательно, с различной низшей теплотой сгорания, которая варьируется от 28,3 до 47,02 МДж/м³. Такие перепады низшей теплоты сгорания невозможно нивелировать с помощью настройки только горелки. Тем не менее, эта проблема может быть решена и без внесения изменений в конструкцию котла с помощью регулировки месторасположения ядра факела внутри топочной части жаротрубного котлоагрегата.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиям способов моделирования и расчёта жаротрубных котлоагрегатов посвящено достаточно большое количество работ. Например, в работе [1] используется нормативный расчёт теплогенерирующих установок [2–3]. Эти исследования представляют собой комплексный подход к тепловому, конструктивному, поверочному и другим расчётам жаротрубного котлоагрегата. В работе [4] был

предложен подход к повышению эффективности жаротрубного теплогенератора за счёт улучшения теплообмена в конвективной части. Численные исследования аэродинамики топочной среды жаротрубных котлоагрегатов были описаны в работах [5–7]. Также исследованию газовых горелок и соответствующих им факелов посвящены работы [8–10]. Однако все вышеперечисленные исследования подразумевают расчёт конкретного жаротрубного котлоагрегата под конкретный вид топлива с конкретной низшей теплотой сгорания и не дают никаких рекомендаций по эксплуатации котла в условиях отличных от расчётных (например, при использовании топлива с разной калорийностью).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основным показателем, характеризующим интенсивность теплообмена в топке котлоагрегата, является коэффициент интегрального теплопереноса. В соответствии с методикой поверочного расчёта теплообмена в поверхностях нагрева жаротрубных реверсивных котлоагрегатов, предложенной профессором А. В. Лукьяновым [1], коэффициент интегрального переноса вычисляется по следующим эмпирическим формулам:

$$K_T = \frac{1}{1 + 0,043N^{0,55}l_T^{-1,3}\left(\frac{l_T}{d_T}\right)^{-0,11}}, \quad (1)$$

или

$$K_T = \frac{1}{1 + 0,086\frac{\sigma}{\xi}Re^{0,55}Bu^{-0,86}\left(\frac{l_T}{d_T}\right)^{-0,75}}. \quad (2)$$

Причём формула (1) для определения K_T является более предпочтительной для реверсивных (тупиковых) топок, поскольку вместо критериев подобия (Рейнольдса Re и Бугера Bu) используются натуральные значения мощности котлоагрегата N , длины l_T и внутреннего диаметра d_T топки. При этом формула (2) больше подходит для прямоточных котлоагрегатов. Кроме того, коэффициент интегрального переноса K_T можно определить по номограмме (рис. 4.1 [1]), полученной на основе формулы (1).

Как видно, формулы (1) и (2) являются эмпирическими, и потому область их применения ограничивается рамками натурных исследований, которые послужили исходными данными для создания эмпирических формул, и не могут быть эффективно использованы при проектировании других типоразмеров жаротрубных котлов.

В данной работе предлагается теоретический подход к определению коэффициента интегрального переноса K_T , основанный на изучении формы факела и места расположения горелки в топке котла.

По данным многих исследователей [5–10] предполагается, что форма факела близка к сфере или эллипсоиду в зависимости от скорости подачи газовоздушной смеси на выходе её из горелки. На рисунке 1 показана форма факела и возможные траектории лучей переноса теплоты излучением по длине топки жаротрубного котлоагрегата.

В ядре факела (т. е. на поверхности шара) на расстоянии 10...20 мм происходит взрывное горение метановоздушной среды. Это расстояние определяется периодом индукции взрыва, время которого 2...3 мс для природного газа (80...95 % которого составляет метан CH_4), до 40 мс для жидкого топлива (мазут) и 50...240 мс для пылеугольной среды. При этом с поверхности шара происходит тепловое излучение. Причём в зависимости от вида топлива на поверхности шара достигается температура 1 600...2 100 °C.

Если же факел имеет форму эллипсоида, то эта форма формируется позднее за счёт разности скоростей (давлений) потоков продуктов сгорания на оси факела и пристенного реверсивного потока у стенки топки. Исходя из этого, в излучающем процессе форма факела практически никакой роли не играет. Важно то, что распространение тепла идёт от поверхности сферы во все стороны, т. е. на все 360 градусов (2π) как в широтном, так и в долготном направлениях. Тогда для излучающей сферы радиуса R площадь $S = 4\pi R^2$. В данном случае ядро факела можно отождествить с Солнцем, которое со своей поверхности равномерно излучает тепло, но проходя через слои атмосферы разной структуры и плотности, а также разного угла достижения лучей поверхности Земли (периода года – зима, лето). В результате такого облучения наблюдается неравномерное распределение теплоты на поверхности Земли.

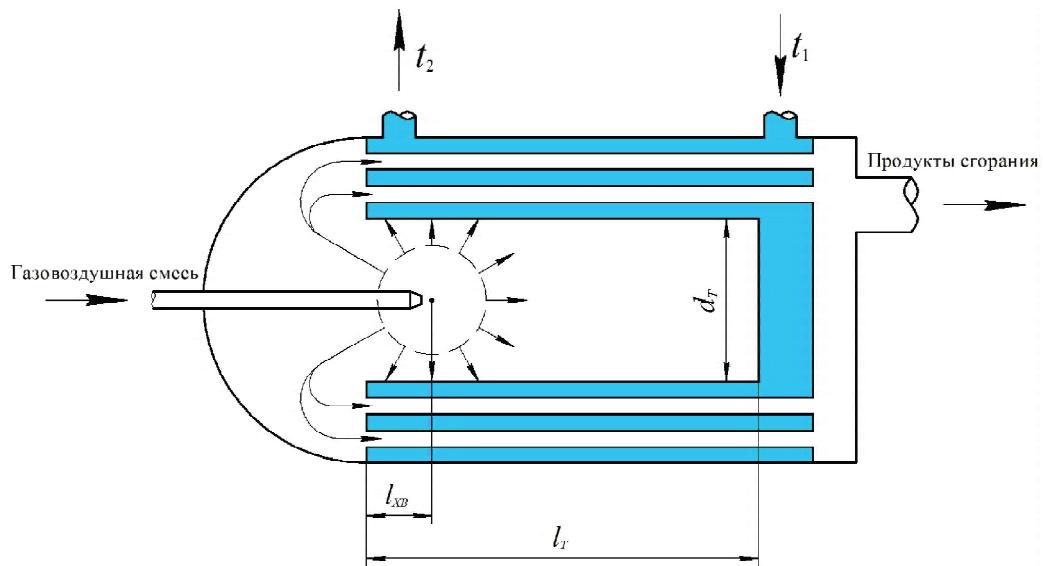


Рисунок 1 – Форма ядра факела и траектории лучей теплопереноса излучением в топке тупикового жаротрубного котла, где l_T – длина и d_T – диаметр топки; t_1 и t_2 – входная и выходная температура теплоносителя – воды.

Выделим в топке 4 зоны (рис. 2):

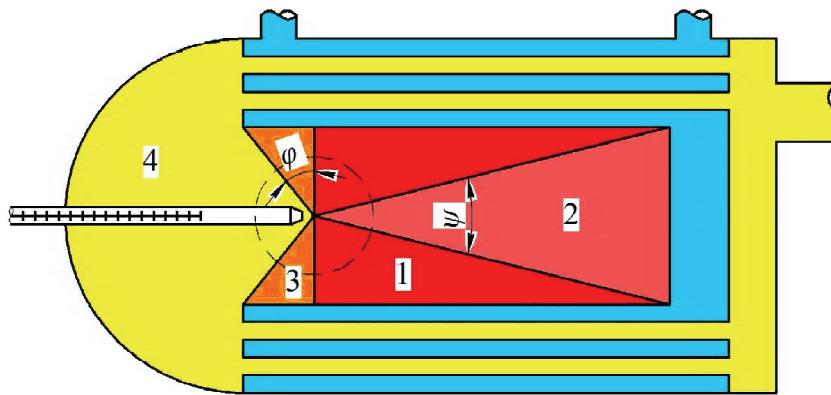


Рисунок 2 – Зоны теплопереноса в топке.

1 зона (показана красным цветом) – основная цилиндрическая;

2 зона (показана розовым цветом) – торцевая;

3 зона (показана оранжевым цветом) – хвостовая;

4 зона (показана жёлтым цветом) – зона входной дверцы.

На основную и торцевую зоны приходится половина площади поверхности излучающей сферы $S_1 = 2\pi R^2$. На зону входной дверцы приходится площадь сферического сегмента $S_3 = 2\pi rh$, где $r = R\cos \varphi$, а $h = R(1 - \sin \varphi)$. На хвостовую зону приходится остаток площади поверхности сферы факела в топке $S_2 = 2\pi(R^2 - rh)$.

Поскольку с поверхности сферы (ядра) равномерно излучается тепло, выдвинем гипотезу о том, что существует прямо пропорциональная зависимость между площадью поверхности сферы факела и количеством излучаемой теплоты. В соответствии с этой гипотезой определим долевое участие количества располагаемой теплоты сгорания топлива из расчёта долевого участия площадей поверхности сферы факела. В результате получим зависимость теплоты от углов φ и ψ . Причём углы φ и ψ связаны между собой через соотношение длины топки и хвостовой части:

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{l_T}{l_{XB}} - 1 \right).$$

Большая топочная часть располагаемой теплоты в топочной части котлоагрегата передаётся через стенку непосредственно от топки к теплоносителю Q_T , а другая часть через переднюю поворотную камеру переходит в конвективную часть Q_K . Каждую часть теплоты геометрически можно описать как:

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_P^P (1 - 0,5 \cos \varphi (1 - \sin \varphi)). \\ Q_K &= Q_4 = 0,5 Q_P^P (\cos \varphi - \sin \varphi \cos \varphi). \end{aligned} \quad (3)$$

Определим угол φ из соотношений в хвостовом треугольнике:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2l_{XB}}{d_T}. \quad (4)$$

Далее определяем искомые значения тригонометрических функций угла φ :

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}} = \frac{d_T}{\sqrt{d_T^2 + 4l_{XB}^2}}. \\ \sin \varphi &= \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \frac{2l_{XB}}{\sqrt{d_T^2 + 4l_{XB}^2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Принимая диаметр топки d_T для расчётного котлоагрегата величиной постоянной, получим зависимость теплоты от местоположения ядра факела в топке, которое определяется значением l_{XB} :

$$Q_T = Q_P^P \left(1 - \frac{d_T (\sqrt{d_T^2 + 4l_{XB}^2} - 2l_{XB})}{2(d_T^2 + 4l_{XB}^2)} \right). \quad (6)$$

Поскольку теплота прямо пропорциональна своему коэффициенту интегрального переноса, справедливым можно считать следующее соотношение:

$$K_T = \frac{Q_T}{Q_P^P} = 1 - \frac{d_T (\sqrt{d_T^2 + 4l_{XB}^2} - 2l_{XB})}{2(d_T^2 + 4l_{XB}^2)}. \quad (7)$$

Таким образом, перемещая вдоль горизонтальной оси ядро факела внутри топочной камеры жаротрубного котлоагрегата, можно регулировать соотношение количества тепла между топкой и конвективной частью котла, что в свою очередь позволяет оптимизировать работу котлоагрегата по отношению к топливу с необходимой калорийностью. Для этого можно использовать шкалу теплоты сгорания, нанесенную на поверхность горелочной трубы, подающей газовоздушную смесь в топку котлоагрегата.

Однако, несмотря на то, что в первых двух зонах концентрируется половина располагаемой теплоты сгорания котлоагрегата, распределение этой теплоты на поверхности топки имеет неравномерный характер. В соответствии с предложенной гипотезой распределение теплоты на поверхности топки будет зависеть от угла ψ . Тогда количество теплоты, которое аккумулируется торцевой частью котлоагрегата, можно определить следующей зависимостью:

$$Q_2 = Q_P^P \left(0,5 \left(1 - \cos \frac{\psi}{2} \right) \right) = Q_P^P \left(0,5 - \frac{(l_T - l_{XB})}{\sqrt{d_T^2 + 4(l_T - l_{XB})^2}} \right). \quad (8)$$

Исходя из этого, определим остаток теплоты, который приходится на цилиндрическую поверхность топки котлоагрегата:

$$Q_1 = Q_P^P (0,5 - Q_2) = Q_P^P \left(\frac{(l_T - l_{XB})}{\sqrt{d_T^2 + 4(l_T - l_{XB})^2}} \right). \quad (9)$$

Как видно из формулы (9), распределение теплоты по поверхности топки носит нелинейный характер. Теперь, используя формулу (9), появляется возможность разбить цилиндрическую поверхность котлоагрегата на участки (примерно 10) и определить значение теплоты на каждом участке.

Учитывая прямо пропорциональную зависимость между теплотой и температурным напором, можно считать справедливыми следующие соотношения:

$$\Delta t_1 = \Delta t \left(\frac{(l_T - l_{XB})}{\sqrt{d_T^2 + 4(l_T - l_{XB})^2}} \right),$$

$$\Delta t_2 = \Delta t \left(0,5 - \frac{(l_T - l_{XB})}{\sqrt{d_T^2 + 4(l_T - l_{XB})^2}} \right). \quad (10)$$

Полученные зависимости (10) можно использовать для более точного расчёта конвективной части котлоагрегата, поскольку в расчёте принимается среднеарифметическое значение температуры, а на самом деле, в соответствии с (8) и (9), распределение температуры по поверхности топки носит нелинейный характер. Кроме того, появляется дополнительная возможность оптимизации конструктивных размеров котлоагрегата за счёт неравномерного распределения труб конвективной части в зависимости от изменения температуры на поверхности топки.

ВЫВОДЫ

В работе предложена методика оптимизации режима работы жаротрубного котлоагрегата при использовании топлива с разной калорийностью, полученная на основе геометрического моделирования теплового баланса между топочной камерой и конвективной частью котла, которая позволяет получить необходимую мощность и максимально возможный КПД котлоагрегата без внесения изменений в его конструкцию.

Перспективой дальнейших исследований является совершенствование расчёта конвективной части жаротрубных котлоагрегатов с учётом разнонаправленных потоков теплоносителей и технических устройств, повышающих турбулентность потоков как дымовых газов, так и нагреваемого теплоносителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лук'янин, А. В. Теплогенератори для локальних систем теплопостачання [Текст] / А. В. Лук'янин. – Макіївка : ДонДАБА, 2003. – 156 с.
- Тепловой расчёт котельных агрегатов. Нормативный метод [Текст] / Под ред. Н. В. Кузнецова и др. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.
- Тепловой расчёт промышленных теплоагрегатов [Текст] / Под ред. В. И. Частухина. – К. : Вища школа, 1980. – 183 с.
- Остапенко Д. В. Повышение эффективности жаротрубного теплогенератора за счёт улучшения конвективного теплообмена [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Остапенко Дмитрий Валерьевич. – Макеевка : [б. и.], 2015. – 235 с.
- Хаустов, С. А. Компьютерное моделирование гидродинамики жаротрубного котла с использованием конечно-элементного анализа [Электронный ресурс] / С. А. Хаустов, П. А. Хаустов, Е. И. Максимова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1–6. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/pdf/2014/6/1519.pdf>.
- Хаустов, С. А. Численное исследование аэродинамики жаротрубной топки с реверсивным факелом [Текст] / С. А. Хаустов, А. С. Заворин // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 5–9.
- Хаустов, С. А. Численное исследование аэродинамики топочной среды в жаротрубном котле типа «Турботерм» [Текст] / С. А. Хаустов, А. С. Заворин // Промышленная энергетика. – 2014. – №. 1. – С. 11–14.
- Исследование влияния на теплофизические характеристики факела в цилиндрической топке и его теплоотдачу геометрических и режимных параметров газогорелочных устройств [Текст] / В. Ф. Губарь, С. А. Губарь, А. В. Лук'янин, М. З. Флер // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 44(56). – С. 64–71.
- Зависимость длины факела в топке жаротрубных теплогенераторов от условий работы горелки [Текст] / М. З. Флер, А. В. Лук'янин, С. А. Губарь, А. Г. Яценко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2002. – Вип. №4(35) Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 60–62.
- Флер, М. З. Газовая горелка для жаротрубных теплогенераторов малой мощности [Текст] / М. З. Флер // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2003. – Вип. № 4(41) Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 26–28.

Получено 10.10.2018

В. М. КАЧАН, О. В. ЛУК'ЯНОВ, Є. В. КОНОПАЦЬКИЙ
ТЕОРІЯ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В ЖАРОТРУБНИХ
КОТЛОАГРЕГАТАХ З ТУПІКОВОЮ ТОПКОЮ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Запропонована оригінальна методика геометричного моделювання теплового балансу між топковою та конвекційною частинами жаротрубного котлоагрегату малої потужності, яка дозволяє виконувати тепловий розрахунок. Шляхом регулювання розташування пальника в топковій частині котла можна для досягнення необхідної потужності і максимального ККД при використанні палива з різним ступенем теплоти згоряння. В основу розрахунку покладено виділення чотирьох об'ємів (зон) знаходження продуктів згоряння в топковій частині котлоагрегату. В першій (основній) та другій (торцевій) зонах в самому глухому куті топки завжди акумулюється половина сумарної теплоти згоряння палива (геометрично це пастка теплоти). За рахунок третьої зони забезпечується оптимальний коефіцієнт інтегрального теплопереносу (регулювання) в топковій частині, а також потужність і ККД котла. Четверта зона визначає задану паспортну потужність і ККД, яка досягається в конвекційній частині котлоагрегату.

Ключові слова: коефіцієнт інтегрального перенесення, тепловий баланс, жаротрубний котлоагрегат, конвекційна частина, топка, ядро факела, теплота згоряння палива, зони теплопереносу.

VLADIMIR KACHAN, ALEXANDER LUKYANOV, EVGENIY KONOPATSKIY
THEORY OF THE HEAT TRANSFER PROCESS CALCULATION IN FIRE-TUBE
BOILERS WITH A STUB SUBSTRACT
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. An original method the geometric modeling of the thermal balance between the combustion and convective parts of a low-power heat-tube unit is proposed, which allows to perform a thermal calculation by adjusting the location of the burner in the combustion part of the boiler to achieve the required power and maximum efficiency when using fuels with different degrees of heat combustion. The basis on this calculation is the allocation of 4-h volumes (zones) of the combustion products in the combustion part of the heat unit. In the first (main) and second (end) zones in the dead-end furnace is always accumulated half of the total heat of combustion (geometrically it is a heat trap). The third zone provides the optimal coefficient of integral transfer (adjustment) in the combustion part, as well as the power and efficiency of the heat unit. The fourth zone determines the residual power and efficiency achieved in the convective part of the heat unit.

Key words: the integrated transfer coefficient, thermal balance, fire-tube heat unit, convective portion, furnace, the core of the torch, the heat combustion of fuel, area of heat transfer.

Качан Владимир Николаевич – профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оптимизация технологических процессов.

Лук'янов 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.

Конопацкий Евгений Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры специализированных информационных технологий и систем ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка инструментов многомерной геометрии в БН-исчислении для геометрического моделирования объектов, процессов и явлений; геометрическое моделирование и оптимизация многофакторных процессов и явлений живой природы, техники, технологий, экономики, строительства и архитектуры.

Качан Володимир Миколайович – профессор кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оптимізація технологічних процесів.

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

Конопацький Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих інформаційних технологій і систем ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка інструментів багатовимірної геометрії у БН-численні для геометричного моделювання об'єктів, процесів і явищ; геометричне моделювання і оптимізація багатофакторних процесів і явищ живої природи, техніки, технології, економіки, будівництва і архітектури.

Kachan Vladimir – Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: optimization of technological processes.

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.

Konopatskiy Evgeniy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Specialized Information Technology and Systems Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development tools multidimensional geometry in BN-calculation for geometric modeling objects, processes and phenomena's; geometric modeling and optimization of multifactor processes and phenomena's of living nature, engineering, technology, economics, civil engineering and architecture.

УДК 628.1 + 629.33

С. Е. ГУЛЬКО^а, С. П. ВЫСОЦКИЙ^б

^а ДонГИПРОшахт, ^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЯХ

Аннотация. Уникальные свойства воды объясняют ее широкое распространение в различных сферах жизнедеятельности: для питьевого водоснабжения, в сельском хозяйстве и для промышленных целей. Энергетические процессы в атмосфере и гидросфере во многом обусловлены теплофизическими свойствами воды. Дефицит пресных вод вызывает необходимость применения таких альтернативных источников водоснабжения, как шахтные воды. При использовании этих вод в промышленности ограничивающим фактором является накипеобразование. Основным накипеобразователем является карбонат кальция, интенсивность образования которого зависит от карбонатного индекса – произведения концентраций ионов кальция и гидрокарбонатной щелочности воды. Образование отложений карбоната кальция начинается уже в процессе откачки шахтной воды из подземных горизонтов. Приведены данные по увеличению перепада давления в ставах и дополнительных затратах средств на откачуку шахтной воды в результате накипеобразования в трубопроводах. Одним из альтернативных решений по сокращению использования пресной воды является применение очищенных шахтных вод для подпитки тепловых сетей. Приведено сравнение двух технологий умягчения воды при использовании сильно- и слабокислотных катионитов. Основным преимуществом применения слабокислотных катионитов является то, что при умягчении воды обеспечивается стабильное качество воды, сброс засоленных стоков сокращается в 4–5 раз, и при обработке воды удаляются оба иона накипеобразователя: катион кальция и гидрокарбонат ион.

Ключевые слова: пресная вода, шахтная вода, умягчение, стоки, катионит, накипеобразование, став.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Большие и закономерно возрастающие масштабы использования воды в коммунальных целях, в сельском хозяйстве, в различных отраслях промышленности являются результатом ее широкого распространения в природе и ряда уникальных свойств. Как известно, количество воды на земном шаре огромно – $1,37 \cdot 10^9$ км³ (примерно 7 % от веса земной коры). Однако на долю пресной воды приходится менее 2 % ($3 \cdot 10^7$ км³) от ее общего количества, а если исключить ледники – то всего лишь $8 \cdot 10^5$ км³ (0,04 %). Тем не менее именно воды озер, почвы, атмосферы и рек являются основными источниками для подавляющего большинства водопользователей.

Значение воды для процессов жизнедеятельности (питьевое водоснабжение, сельское и рыбное хозяйство) и для промышленных целей, помимо широкой ее распространенности в природе, обусловлено уникальными свойствами воды: высокими теплоемкостью, теплопроводностью и растворяющей способностью. В свою очередь все они определяются значительной полярностью молекул воды и, следовательно, как значительной энергией взаимного притяжения (ориентационное взаимодействие), так и высокой диэлектрической проницаемостью.

Теплофизические свойства (теплоемкость, теплопроводность) воды во многом обусловливают энергетические процессы в гидросфере и атмосфере, а в промышленности являются причиной широкого использования воды как теплоносителя (охлаждение греющих поверхностей) и рабочего тела в тепловой и атомной энергетике. Способность воды растворять многие вещества, главным образом электролиты, обеспечивает жизнедеятельность растений и животных (осмотические процессы, большинство биохимических реакций), а также обусловливает промышленное применение ее как средства очистки и среды для проведения химико-технологических процессов [1].

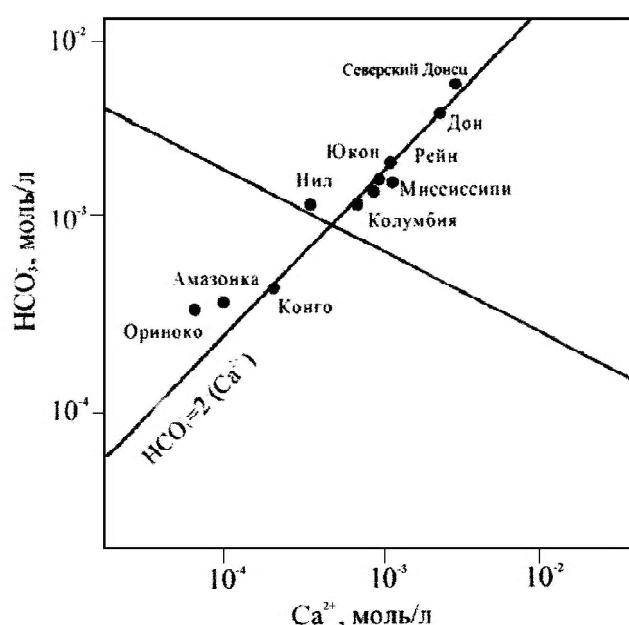


Рисунок 1 – Концентрация анионов HCO_3^- и катионов Ca^{2+} в мировых реках.

Целью исследования являются обоснование и решение проблемы накипеобразования в различных отраслях промышленности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Образование осадка происходит, когда размер зародышей кристаллов превышает критическое значение. Зародыши, не достигшие критического размера, распадаются, а достигшие его – растут. Критический зародыш представляет собой мельчайшую частицу с максимальным поверхностным напряжением, способную к самопроизвольному росту. Относительно размеров критического зародыша единого мнения нет. По одним данным эта частица должна содержать от 2 до 9 ионов, по другим – около 100.

Образование первичных кристаллов и дальнейшее срастание их в агрегаты, состоящие из нескольких десятков и сотен молекул, еще не представляет осаждения вещества. Эта стадия формирования осадка соответствующих коллоидным системам.

Пресыщенные растворы могут находиться в метастабильном (относительно устойчивом) состоянии, т. е. могут оставаться без изменения какое-то время и осадок не образуется при условии отсутствия посторонних центров кристаллизации (пылинок, примесных компонентов и др.). Кристаллизация из них начинается лишь после индукционного периода. Существуют пресыщенные растворы, в которых произвольно кристаллизация вообще не идет. В других случаях кристаллизация начинается сразу при возникновении пересыщения. Индукционный период с ростом пересыщения сокращается, и при некоторой его степени метастабильный раствор превращается в лабильный (неустойчивый), из которого идет самопроизвольная кристаллизация, т. е. происходит спонтанное зародышобразование. Концентрационная граница между метастабильным и лабильным состоянием раствора (предельное пересыщение) не является определенной, она зависит от температуры, состава раствора и др.

Индукционным периодом называют интервал от момента смешивания анализируемого раствора с реагентом-осадителем до момента появления зародышей. В зависимости от природы растворенного вещества и растворителя, степени пересыщения, наличия примесей индукционный период может продолжаться от нескольких секунд до нескольких месяцев.

Образование отложений карбоната кальция начинается уже в процессе откачки шахтной воды из подземных горизонтов. На шахтах Донбасса имелись место случаи, когда ставы застали отложениями с 250...300 до 50 мм. Это приводило к перерасходу энергоресурсов и к необходимости выполнению дорогостоящей замены ставов. В таблице приведены расчетные характеристики только затрат энергии на откачуку шахтной воды при уменьшении диаметра става в результате отложения солей.

Основными катионами, которые содержатся в природной воде, являются Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} ; основными анионами – HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Все натриевые соединения легко растворимы, высокую растворимость имеют и хлориды. Кроме того, растворимость этих соединений увеличивается с повышением температуры. Основным накипеобразователем является карбонат кальция. Концентрация основных накипеобразователей: катионов кальция и гидрокарбонат-ионов в основных мировых реках изменяется в широких пределах, что показано на рисунке 1.

Приведенные на рисунке 1 данные показывают, что даже поверхностная вода в нашем регионе обладает самым высоким карбонатным индексом – произведением концентраций кальция и щелочности, определяющих интенсивность накипеобразования. При использовании для производственных целей шахтных вод, концентрация потенциальных накипеобразователей в которых больше возникает необходимость решения проблемы предотвращения накипеобразования [2].

Приведенные на рисунке 1 данные показывают, что даже поверхностная вода в нашем регионе обладает самым высоким карбонатным индексом – произведением концентраций кальция и щелочности, определяющих интенсивность накипеобразования. При использовании для производственных целей шахтных вод, концентрация потенциальных накипеобразователей в которых больше возникает необходимость решения проблемы предотвращения накипеобразования [2].

Таблица – Расчетные скорости потока и затраты электроэнергии в зависимости от диаметра трубы при расходе воды 100 м³/ч

| № п/п | Диаметр тр-да, мм | Скорость потока, м/с | Перепад давления, бар | Затраты энергии, кВт | Затраты средств, тыс. евро |
|-------|-------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 50 | 11,9 | 28,3 | 113 | 98,90 |
| 2 | 65 | 7,1 | 7,8 | 31,2 | 27,32 |
| 3 | 80 | 5,2 | 3,5 | 14 | 12,25 |
| 4 | 100 | 3,1 | 1,0 | 4,0 | 3,50 |
| 5 | 125 | 2,0 | 0,42 | 1,68 | 1,47 |
| 6 | 150 | 1,4 | 0,21 | 0,84 | 0,73 |
| 7 | 200 | 0,8 | 0,1 | 0,4 | 0,35 |
| 8 | 250 | 0,5 | 0,06 | 0,24 | 0,21 |

Примечание: Данные таблицы для трубопровода длиной 100 м; $\eta_h = 0,75$; $\eta_{элэнер} = 0,90$; длительность работы насоса 8 760 час/год (365 дней), стоимость электроэнергии 0,10 €/кВтч. Труба имеет 5 колен со стандартным радиусом 1,5 диаметра.

При использовании шахтной воды в оборотных системах охлаждения первичных газовых ходильников коксохимических производств увеличение толщины слоя карбоната кальция с 0,2 до 2 мм приводит к снижению теплопередачи примерно на 20 % и повышению температуры коксового газа на 8...10 °С. Это значительно снижает экстракцию из газа фенолов, аммиака и нафталина, увеличивает содержание этих компонентов в сточных водах.

При транспортировке шахтной воды в ставе происходит уменьшение статического давления жидкости, а при нагреве воды в подогревателях происходит изменение парционального давления угольной кислоты. В результате гидролиза гидрокарбоната-ионов это сопровождается тремя стадиями перестройки системы [3]:

1. CO_2 переходит из раствора в газовую фазу.
2. Изменяется ионное равновесие в жидкой фазе, которое сопровождается изменением pH и концентрации карбонат ионов. В результате произведение концентрации ионов кальция и карбонатов превышает произведение растворимости карбоната кальция.
3. Происходит перенос вещества из жидкой фазы в твердую, в результате увеличивается размер уже образовавшихся кристаллов или появляются новые кристаллы.

На рисунке 2 показано влияние концентрации угольной кислоты на pH раствора. Оно описывается уравнением:

$$pH = 6,95 - 0,98 \lg C,$$

где C – концентрации угольной кислоты (CO_2) в растворе, ммоль/дм³.

При подготовке воды для подпитки тепловых сетей в практике стран СНГ используются в основном две технологии: умягчение воды в натрий-катионных фильтрах и обработка воды водород-катионных фильтрах, регенерируемых в так называемом «голодном» режиме. Учитывая дефицит пресных вод, используемых в качестве исходного сырья, альтернативой является использование вод повышенной минерализации, в частности осветленных шахтных вод [4, 5]. В этом случае применение технологий с фильтрами, загруженными сильнокислотным катионом и регенерируемыми кислотами в голодном режиме не позволяет получить воду приемлемого качества. Это обусловлено тем, что в большей части фильтрации в обработанной воде присутствуют растворы кислот.

При использовании технологии умягчения воды в натрий-катионных фильтрах, загруженных катионом КУ-2-8 (наиболее распространенный отечественный катионит) при его регенерации необходим избыток раствора поваренной соли в соотношении 3:1 (3 гэкв $NaCl$ на 1 гэкв погашенных катионов). Кроме этого, при повышенной минерализации исходной воды увеличивается концентрация противоионов-натрия, что уменьшает емкость поглощения и дополнительность увеличивает расход регенеранта и проскок катионов жесткости в фильтрах. Последнее вызывает существенные экологические и экономические издержки [6].

Обоснованным выходом из создавшегося положения является использование технологии умягчения воды в фильтрах, загруженных слабокислотным, карбоксильным катионитом и регенерируемым

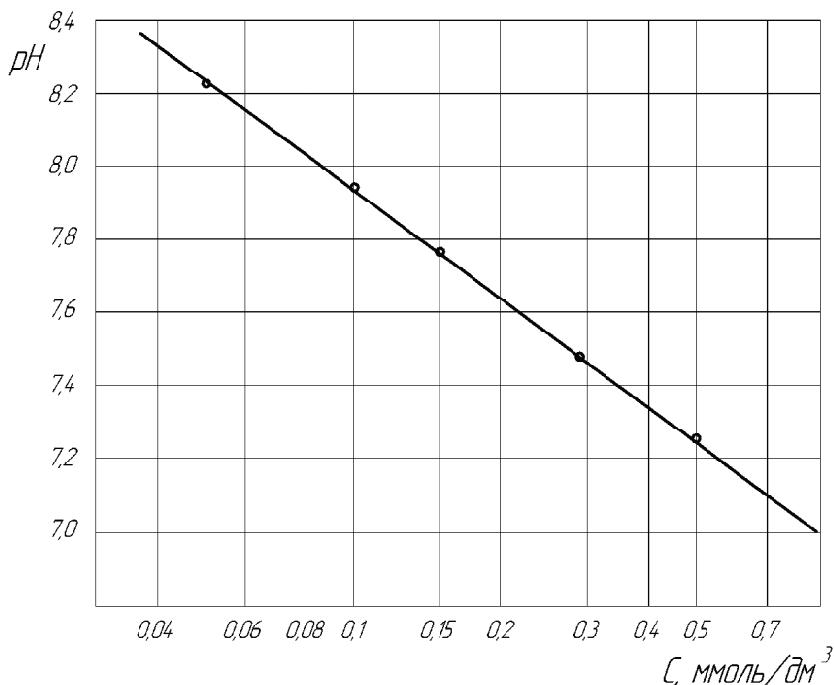


Рисунок 2 – Зависимость уровня pH от концентрации угольной кислоты (CO_2).

раствором серной кислоты малой концентрации. Карбоксильный катионит обладает высокой регенерируемостью – быстро восстанавливает поглотительную способность при малых удельных затратах реагентов, близких к стехиометрическим значениям.

При использовании этого материала имеется ряд достоинств:

- при обработке воды из нее удаляются оба иона накипеобразователя: катион кальция и гидрокарбонат ион, что создает возможность уменьшить нагрузку на ионообменную смолу, уменьшить ее расход, увеличить длительность фильтроцикла;
- качество фильтра на протяжении всего фильтрацикла при использовании карбоксильных катионов остается постоянным, кальций поглощается пропорционально щелочности воды;
- катиониты с карбоксильными группами химически стойкие в кислых, нейтральных и щелочных водных растворах, а также могут использоваться при повышенных температурах (100...120 °C);
- при использовании карбоксильных катионитов обеспечивается основное экологическое преимущество – сброс засоленных стоков сокращается в 4–5 раз;
- при использовании карбоксильного катионита исключается влияние противоионного эффекта на качество умягченной воды и расход реагента.
- при регенерации катионита обеспечивается возможность получения востребованного продукта – гипса, который обезвоживается на вакуум-фильтрах.

Принципы расчета основных технологических параметров обработки воды повышенной минерализации, на карбоксильных катионах изложены в [2].

При передаче тепла в теплообменниках очень важно, чтобы коэффициент загрязнения находился на наиболее низком уровне. По выполненным нами оценкам на рисунке 3 приведены данные, которые показывают значительное влияние толщины отложений такого основного для большинства оборотных систем отложения, как карбонат кальция, на коэффициент теплопередачи « K » и соответствующее увеличение энергозатрат « ΔZ ». При этом:

$$K = \frac{471}{\delta^{1.15}}, Bm / m^2 \cdot K; \Delta Z = 34 \cdot \delta^{0.97}, \%$$

где ΔZ – процент превышения затрат от работы оборудования без отложений по сравнению с «чистыми» поверхностями нагрева.

По накоплении отложений снижается расход воды через теплообменники, в результате чего снижается эффективность работы оборудования, а также возникает необходимость в дополнительном обслуживании либо преждевременной замене отдельных элементов.

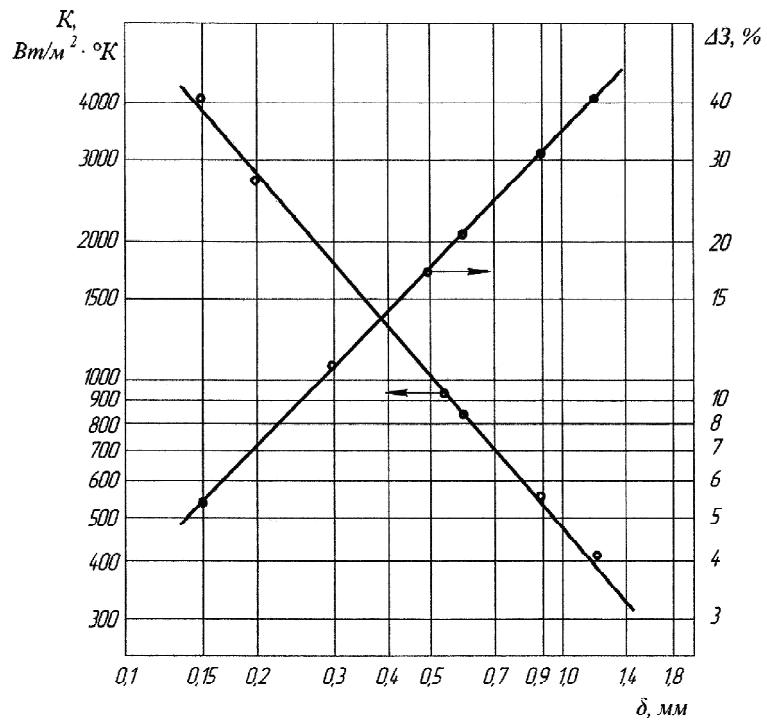


Рисунок 3 – Изменение коэффициента теплопередачи и увеличение энергозатрат в зависимости от толщины накипи.

В практике ДНР существуют нормативы качества воды для подпитки тепловых сетей, установленные еще в Советском Союзе. Качество воды нормируется по так называемому карбонатному индексу – произведения концентрации ионов кальция в воде, поступающей на подпитку, на щелочность воды. Нормативы установленные в зависимости от вида подогрева: в котлах или подогревателях, температуры нагрева воды и типа систем теплоснабжения (открытых или закрытых). Учитывая то, что интенсивность накипеобразования зависит от температуры подогрева воды, а также от длительности пребывания в зоне нагрева, то при увеличении длительности нагрева в водогрейных котлах по сравнению с сетевыми подогревателями необходимо обеспечить меньшее значение карбонатного индекса в подогретой воде.

ВЫВОДЫ

1. Дефицит пресных вод в Донбассе вызывает необходимость поиска альтернативных источников водоснабжения промышленных предприятий. Рассмотрены особенности использования шахтных вод для указанных целей.

2. Основной проблемой применения шахтных вод в промышленности в качестве альтернативного источника водоснабжения является повышенная интенсивность образования осадка – карбоната кальция. В результате изменения карбонаткальциевого равновесия осадок образуется уже на ставах, что создает экономические и экологические проблемы.

3. Рассмотрены экологические проблемы при очистке воды от потенциальных накипеобразователей для подпитки тепловых сетей на сильнокислотных и карбоксильных катионитах. Обоснованы преимущества использования карбоксильных катионитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий, С. П. Риски глобального изменения климата [Текст] / С. П. Высоцкий // Вестник Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета, 2016. – № 2(19). – С. 74–84.
2. 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. 3–8.
3. Высоцкий, С. П. Кристаллизация карбоната кальция в оборотных системах водопользования [Текст] / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько // Вода: химия и экология. – 2016. – № 1. – С. 69–75.

4. Vysotsky, S. Economic and ecological features of water cleaning on weak acidic cation exchange resin for district heating systems [Текст] / S. Vysotsky, S. Gulko // Проблемы экологии. – 2014. – № 1 (33). – С. 3–9.
5. Высоцкий, С. П. Риски затопления шахт и использование шахтных вод [Текст] / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько, В. В. Лихачева // Вестник Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета. – 2016. – № 1(18). – С. 88–95.
6. Высоцкий, С. П. Использование шахтных вод для питьевого водоснабжения и в производственных циклах промышленных предприятий [Текст] / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько // Проблеми екології. Загально-державний науково-технічний журнал. – 2013. – № 2. – С. 51–57.

Получено 10.10.2018

С. Е. ГУЛЬКО ^a, С. П. ВИСОЦЬКИЙ ^b

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД В ПРОМИСЛОВИХ ЦІЛЯХ

^a ДонГІПРОшахт, ^b ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Унікальні властивості води пояснюють її широке поширення в різних сферах життєдіяльності: для питного водопостачання, в сільському господарстві і для промислових цілей. Енергетичні процеси в атмосфері і гідросфері багато в чому обумовлені теплофізичними властивостями води. Дефіцит прісних вод викликає необхідність застосування таких альтернативних джерел водопостачання, як шахтні води. При використанні цих вод в промисловості обмежуючим фактором є накипоутворення. Основним накипоутворювачем є карбонат кальцію, інтенсивність утворення якого залежить від карбонатного індексу – добутку концентрацій іонів кальцію і гідрокарбонатної лужності води. Утворення відкладень карбонату кальцію починається вже в процесі відкачування шахтної води з підземних горизонтів. Наведено дані щодо збільшення перепаду тиску в ставах і додаткових витрат коштів на відкачування шахтної води в результаті накипоутворення в трубопроводах. Одним з альтернативних рішень щодо скорочення використання прісної води є застосування очищених шахтних вод для підживлення теплових мереж. Наведено порівняння двох технологій пом'якшення води при використанні сильно- і слабокислотних катіонітів. Основною перевагою застосування слабокислотних катіонітів є те, що при пом'якшенні води забезпечується стабільна якість води, скидання засолених стоків скорочується в 4–5 разів, і при обробленні води видаляються обидва іони накипоутворювача: катіон кальцію і гадрокарбонат іон.

Ключові слова: прісна вода, шахтна вода, пом'якшення, стоки, катіоніт, накипоутворення, став.

SERGEY GUL'KO ^a, SERGEY VYSOTSKIY ^b

FEATURES OF THE USE OF MINE WATER FOR INDUSTRIAL PURPOSES

^a Dongiproshakht, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The unique properties of water explain its wide distribution in various spheres of life: for drinking water supply, in agriculture and for industrial purposes. Energy processes in the atmosphere and hydrosphere are largely due to the thermo physical properties of water. The lack of fresh water necessitates the use of such alternative sources of water supply as mine water. When using these waters in industry, scale formation is a limiting factor. The main scaler is calcium carbonate, the intensity of the formation of which depends on the carbonate index – the product of the concentrations of calcium ions and alkalinity of hydrocarbon water. The formation of calcium carbonate deposits begins already in the process of pumping mine water from underground horizons. The data on the increase in pressure drop in the stakes and additional costs of funds for pumping mine water as a result of scale formation in pipelines are given. One of the alternative solutions to reduce the use of fresh water is the use of treated mine water to feed heating networks. A comparison of two technologies of water softening using strongly and weak acid cation exchangers is given. The main advantage of using weak-acidic cation exchangers is that water softening ensures a stable water quality, saline effluent discharge is reduced by a factor of 4–5, and when water is treated, both scale ions are removed: the calcium cation and the hydrogen carbonate ion.

Key words: fresh water, mine water, softening, drains, cationite, scale formation, becoming.

Гулько Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, директор института Донгипрошахт. Научные интересы: защита окружающей среды, экологические проблемы при эксплуатации и закрытии угольных шахт, очистка шахтной воды.

Высоцкий Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: техносферная безопасность при эксплуатации промышленных предприятий, очистка промышленных и природных вод, энергосбережение.

Гулько Сергій Євгенович – кандидат технічних наук, директор інституту Донгіпрошахт. Наукові інтереси: захист навколишнього середовища, екологічні проблеми при експлуатації та закритті вугільних шахт, очищення шахтної води.

Высоцкий Сергій Павлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: техносферна безпека при експлуатації промислових підприємств, очищення промислових і природних вод, енергозбереження.

Gul'ko Sergey – Ph. D. (Eng.), Director of the Dongiproshakht Institute. Scientific interests: environmental protection, environmental problems in the operation and closure of coal mines, cleaning of mine water.

Vysotskiy Sergey – D. Sc. (Eng.) Professor, the Head of Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technospheric safety during operation of industrial enterprises, purification of industrial and natural waters, energy saving.

УДК 504.054:628.4.045:620:266.11

Л. Н. АБАКУМЕНКО^{a, b}, В. Н. РАДИОНЕНКО^b

^a «Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности»,

^b ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

О ПЕРСПЕКТИВАХ ДЕМЕРКУРИЗАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП НА ТЕРРИТОРИИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Аннотация. В статье изложен материал о состоянии вопроса, который связан с демеркуризацией и утилизацией люминесцентных ламп на территории Донецкой Народной Республики. Проанализированы способы и методы в области утилизации ртутьсодержащих отходов. Рассмотрены основные виды специализированного оборудования, применяемого в соответствующей отрасли. Описаны принципы действия и приведены данные технических характеристик некоторых демеркуризирующих установок, в основу которых положены данные методы. Сопоставлены технические характеристики, выявлены основные преимущества и недостатки. Приведены данные об опыте эксплуатации определённых установок в различных странах. На основании чего предложены некоторые рекомендации. Обоснована необходимость создания специализированных организаций на территории Донецкой Народной Республики, которые имели бы право осуществлять деятельность в сфере демеркуризации и утилизации люминесцентных ламп. Для реализации предложенных способов по недопущению образования экологических и техногенных катастроф возникает острая необходимость принятия соответствующих решений на законодательном уровне.

Ключевые слова: отходы, утилизация, демеркуризация, люминесцентные лампы, ртуть, экологическая опасность.

ЦЕЛЬ

Анализ и обоснование проблемы утилизации люминесцентных ламп как приоритетной задачи в сфере обеспечения экологической безопасности объектов окружающей среды.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На сегодняшний день использование люминесцентных ламп широко применяется для освещения жилых и общественных зданий и сооружений, так как имеют ряд преимуществ перед классическими лампами накаливания. Следует отметить, что их срок службы значительно дольше и потребление электричества значительно меньше. Тем не менее, несмотря на определённые достоинства, они все же имеют один существенный недостаток. Речь идёт о ртути, которая содержится в составе люминесцентных ламп. Широко известным фактом является то, что ртуть относиться к чрезвычайно опасным веществам.

Любая люминесцентная лампа состоит из следующих компонентов:

- стекло;
- люминофор;
- металлы;
- ртуть.

Более детальное устройство лампы показано на рисунке.

Люминесцентные лампы являются газоразрядными источниками света. Принцип работы люминесцентной лампы следующий: между двумя электродами, которые находятся в противоположных концах лампы, создается дуговой разряд, который происходит в парах ртути, вследствие чего и создается ультрафиолетовое излучение. С помощью специального вещества, называемого люминофор,

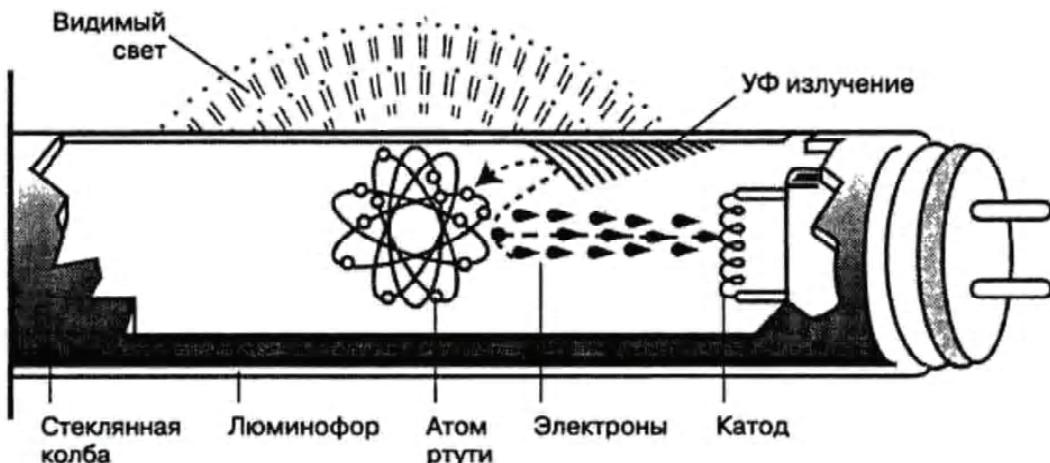


Рисунок – Устройство люминесцентной лампы.

оно преобразовывается в видимый свет. Несмотря на то, что в лампе находится довольно небольшое количество паров ртути, при разгерметизации оболочки возможно превышение предельно допустимой концентрации в замкнутом помещении почти в 20 раз.

Всемирная организация здравоохранения относит ртуть к токсическим веществам, которые наиболее опасны для окружающей среды и здоровья человека.

Отравление ртутью возникает не только при прямом контакте с ее парами, но и при употреблении в пищу молока и мяса коров, выпас которых осуществляется вблизи полигонов и свалок, куда хаотично сбрасываются ртутьсодержащие лампы, а также во многих других случаях, например через почву, воду и т. д.

Как известно, всего 1 г ртути, попавший в окружающую среду, загрязняет 200 000 м³ воды и 3 млн м³ воздуха. Ко всему ртуть накапливается в корнях растений и деревьев, грибах, водорослях и рыбе. Поэтому отработанные ртутьсодержащие лампы обязательно должны подлежать утилизации. Первоочередной задачей при переработке отработанных ртутных ламп является извлечение из них ртути с последующим удалением – демеркуризацией.

На территориях предприятий и учреждений Донецкой Народной Республики, которые особо нуждаются в утилизации люминесцентных ламп, хранится огромное количество данного вида отходов.

Однако даже осознавая важность корректной утилизации люминесцентных ламп, жители Донецкой Народной Республики испытывают сложности, поскольку на сегодняшний день отсутствует система пунктов сбора таких ламп, а также наличие организаций, которые осуществляют деятельность, связанную с обезвреживанием ртутьсодержащих отходов.

Куда более продвинулись в этих вопросах западные страны, Евросоюз в целях защиты населения и окружающей среды выпустил ряд директив. Самыми главными из них являются:

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) – Директива 2002/96/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. об утилизации электроприборов и электронного оборудования. Данная Директива регулирует сбор, обработку, повторное использование, обезвреживание и утилизацию отходов.

Во исполнение Директивы в 2002 году была создана организация European Recycling Platform (ERP).

The Restriction Of The Use Of Certain Hazardous Substances (RoHS) – Директива 2002/95/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. по ограничению использования определенных опасных материалов в электроприборах и электронном оборудовании. Директива вступила в силу на территории Евросоюза с 1 января 2006 года. Она устанавливает точные пределы допустимых концентраций опасных веществ, в том числе ртути, в отличии от других нормативных документов, которые только рекомендуют придерживаться некоторых безопасных значений.

Проанализировав существующие методы демеркуризации можно выделить два основных – термический и химический. Все остальные методы являются вариантами их исполнения.

Термический метод – основан на испарении ртути и ее конденсации в результате прогревания или прокаливания ртутьсодержащих отходов в специальных установках [1].

Одной из таких установок является шнековая трубчатая печь, в которой термообработка осуществляется при температуре 350...390 °С. Процесс демеркуризации заключается в возгонке ртути из предварительно раздробленных ламп, последующей конденсации паров ртути и удалении продуктов переработки. Продуктами переработки являются два продукта: ступпа и сорбент. Ступпа состоит из смеси металлической ртути с порошкообразным стеклом и люминофором. Сорбент – химический поглотитель ртути. Методложен в основу установок типа УДЛ и типа УДМ, УДМП. Является одним из наиболее эффективных, однако требует высоких капитальных затрат. Потому с помощью такого метода наиболее выгодно перерабатывать материалы с высоким содержанием ртути.

Термовакуумно-криогенная демеркуризация, еще один из разновидностей термического метода, также заключается в нагревании измельченных люминесцентных ламп, однако в условиях глубокого вакуума и дальнейшем вымораживании испарившейся ртути в криогенной ловушке, охлаждаемой жидким азотом. Применение глубокого вакуума дает ряд преимуществ. Во-первых, позволяет понизить рабочую температуру процесса, во-вторых – увеличить интенсивность испарения ртути. Однако у данного метода существуют и недостатки, такая технология не пригодна для загрязненных и влажных отходов, а также отходов с содержанием органических компонентов.

Методложен в основу в малогабаритной установке типа УРЛ-2М, технические характеристики которой указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики установки УРЛ-2М

| Наименование показателя | Размерность | Значение |
|--|-------------|-------------------|
| Производительность | ламп/час | до 200 |
| Энергопотребление | кВт | не более 15 |
| Температура демеркуризации | °С | до 450 |
| Остаточное содержание ртути: | | |
| в отходящих газах | мг/м. куб | не более 0,0003 |
| в стеклобое | мг/кг | не более 2,1 |
| Габаритные размеры (высота/ширина/длина) | мм | 1 900×1 280×2 100 |
| Вес | кг | 720 |
| Размеры обрабатываемых ламп | мм | до 1 600 |

Обрабатываемые люминесцентные лампы разрушают в демеркуризационной камере установки, после этого камеру вакуумируют и отходы нагревают до температуры 380...450 °С. Далее пары ртути откачиваются вакуумной системой установки. Систему вакуумной откачки камеры образуют бустерный (усиливающий) паромасляный насос и механический форвакуумный (для предварительной откачки) насос. Вакуумирование камеры осуществляют через низкотемпературную ловушку, которую охлаждают до температуры – 60 °С жидким азотом или, при необходимости, твердой углекислотой [2]. В ней и происходит конденсация атомов ртути, которая стекает после размораживания ловушки в сборник в виде жидкого металла.

Метод так называемой «сухой» химической демеркуризации – заключается в тонком измельчении и перетирании осколков люминесцентных ламп в герметичной дробилке стальными валками при повышенной температуре в присутствии избытка тонкодисперсной серы. Вследствие этого процесса на выходе получается тонкоизмельченная смесь стеклобоя, люминофора с присутствием в ней серы и сульфида ртути. Получаемый отход свободной ртути не содержит, относится к 4 классу опасности и может быть захоронен на полигоне ТБО.

Метод вибропневматического разделения – заключается в вибропневматическом разделении ртутных ламп на главные составляющие: стекло, металлические цоколи и ртутьсодержащий люминофор [4]. Стеклобой, металлические цоколи (алюминиевые и стальные), а также ртутьсодержащий люминофор, очищенные от ртути, могут использоваться как вторичное сырье. Данный метод нельзя считать самостоятельным, так как при его использовании образуется ртутьсодержащий отход (люминофор), который требует в свою очередь термической обработки для выделения из него ртути. Однако используется он достаточно широко, в частности, работая в паре с термической установкой, вибросепаратор позволяет резко улучшить общую технологичность и экологичность процесса за счет использования термической установки в оптимальном режиме [3].

К установкам, основанным на таком методе, относится Экотром-2, разработанный в ООО НПП «Экотром». Перерабатываемая лампа разделяется в пневмовибрационном сепараторе на металлические цоколи, стеклянную смесь до крупности стекла – 8 мм и на ртутьсодержащий люминофор,

концентрирующий большинство ртути, которая находится в лампе. Воздушный поток очищается от люминофора в циклоне, рукавном фильтре и адсорбере. С помощью такой технологии получается извлекать и фиксировать в люминификаторе не менее 95...97 % ртути. Стеклобой и цоколи, уже очищенные от ртути, можно использовать как вторичное сырье. По сравнению с пневмовакуумными, термическими и термохимическими установками является экономичной по потреблению электроэнергии, а производительность ее составляет до 1 200 ламп/час [4]. Тем не менее данная установка имеет существенный недостаток, она не обеспечивает полного цикла обезвреживания и требует дополнительных операций по демеркуризации люминофора с целью выделения ртути. Однако примерно по такой технологии работает подавляющее большинство установок в США, Германии и Великобритании, которые в обязательном порядке дополнены узлом дистилляции. Технические характеристики установки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики установки Экотром -2

| Наименование показателя | Размерность | Значение |
|---|---------------------|----------|
| Производительность | ламп/час | до 1 200 |
| Стеклобой | кг | 250–280 |
| Цоколи | кг | 5 |
| Люминофор | кг | 15–18 |
| Энергопотребление | кВт/ч | 11 |
| Расход активированного угля в адсорберах | т/год | 0,5 |
| Расход воздуха для продувки рукавных фильтров | м ³ /час | 0,3 |
| Остаточное содержание ртути в отходящих газах | мг/м ³ | 0,0001 |
| Необходимая производственная площадь | м ² | 20 |

Метод «мокрой» химической демеркуризации, который еще называют гидрометаллургическим, заключается в обработке раздробленных ламп химическими демеркуризаторами для перевода ртути в труднорастворимые соединения, как правило, сульфид ртути. В качестве демеркуризатора чаще всего используются растворы полисульфида натрия или кальция [5].

Вариантом метода является проведение процесса в специально доработанной бетономешалке, при этом помимо растворов демеркуризаторов в реакционную массу добавляется также цемент. Основным отходом такого процесса являются затвердевшие массы, содержащие связанную ртуть в виде сульфида [6]. Одним из самых главных его недостатков является образование сточных вод. Применение данного метода возможно только в крайних случаях при проведении демеркуризационных работ в загрязненных ртутью помещениях и проведении других аварийных работ, в том числе работ в зонах экологического бедствия. Единственное исключение делается для ртутьсодержащих отходов с чрезвычайно низким содержанием ртути (менее 0,00021 %), которые разрешено захоронить на полигоне в обезвреженном или необезвреженном состоянии [7].

В Луганской Народной Республике эксплуатируется установка «Экотром-2У». Мощность установки «Экотром-2У» составляет 200 тыс. шт./год, что покрывает потребности в утилизации данного вида отходов всей Луганской Народной Республики. Стоимость вывоза и утилизации одной ртутьсодержащей лампы составляет 37 руб.

Установка «Экотром-2У» является мобильной установкой и может применяться как в помещениях, так и в мобильных зданиях контейнерного типа, модулях, боксах, как имеющих собственную ходовую часть, так и не имеющих собственной ходовой части при температуре от +12 до +28 °C и относительной влажности не более 80 %. Технические характеристики установки представлены в таблице 3 [8].

При нынешней ситуации, в которой оказались братские Республики, в качестве рекомендаций следует позаимствовать опыт эксплуатации описанной выше установки.

ВЫВОД

Для решения вопроса по изложенной проблеме крайне необходимо наличие специализированных организаций и производств по демеркуризации и утилизации люминесцентных ламп. Проведенный анализ существующих методов и способов свидетельствует о внушительном количестве возможных вариантов, доступных к использованию. Создание таких организаций должно инициироваться исключительно на уровне законодательной базы Донецкой Народной Республики, что позволит

Таблица 3 – Технические характеристики установки Экотром-2У

| Наименование показателя | Размерность | Значение |
|--|----------------|----------|
| Производительность | | |
| прямые люминесцентные лампы | | 900 |
| прямые ртутьсодержащие лампы без разрушения трубок | шт./час | 200 |
| U-образные, фигурные лампы | | 300 |
| компактные люминесцентные лампы | | 300 |
| Электроэнергия | | |
| при работе узла измельчения и обезвреживания прямых ЛЛ; | | 2,5 |
| при работе узла измельчения и обезвреживания КЛЛ и | | 1,35 |
| прямых ЛЛ | | 0,1 |
| при работе узла обезвреживания трубок ЛЛ | | |
| Расход препарата демеркуризационного Э-2000Т, ТУ 2621-003- 29496068-2013 | литр/час | 1,0–2,0 |
| Расход сорбента (активированный уголь) АГ-3, АГ-5, Silcarbon SQ21 и аналогичных препаратов | кг/год | 6 |
| Расход воды питьевой | л/час | 1,0–2,0 |
| Необходимая производственная площадь | м ² | 4,5 |
| Вес | кг | 100–200 |

защитить население от пагубного воздействия отходов от люминесцентных ламп и не допустить возникновение экологических и техногенных катастроф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бессонов, В. В. Утилизация ртутьсодержащих искусственных источников света на станциях демеркуризации [Текст] / В. В. Бессонов. – М. : ИМГРЭ, 2000. – 142 с.
- Min, Jang Characterization and recovery of mercury from spent fluorescent lamps [Текст] / Min Jang, Seung Mo, Hong Jae, K. Park // Waste Management, 2005. – Volume 25, Issue 1. – P. 5–14.
- Ефремов, М. С. Современные методы утилизации энергосберегающих ртутьсодержащих люминесцентных ламп [Электронный ресурс] / М. С. Ефремов // Материалы VII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум – 2015». Промышленная экология и безопасность. – 2015. – Режим доступа : <https://scienceforum.ru/2015/article/2015016441>.
- Recycling oriented comparison of mercury distribution in new and spent fluorescent lamps and their potential risk [Текст] / J. Hobohm, O. Krüger, S. Basu, K. Kuchta and etc. // Chemosphere. – 2017. – Volume 169. – PP. 618–626.
- Тимошин, В. Н. Вибропневматическая установка «Экотром-2» – эффективное решение проблем утилизации ртутных ламп [Текст] / В. Н. Тимошин, Г. В. Макарченко, Е. П. Янин // ВэйтТэк-2005. Сборник докладов. – М. : ЗАО «Фирма СИБИКО интернэшнл», 2005. – 173 с.
- Glenz, T. G. Preventing mercury vapor release from broken fluorescent lamps during shipping [Text] / T. G. Glenz, L. M. Brosseau, R. W. Hoffbeck // J. Air and Waste Management Association. – 2009. – 59(3). – PP. 266–272.
- ИТС 15-2016 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов) [Текст] / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Бюро «НДТ», 2016. – 208 с.
- ТУ 3618-001-81835672-2015 Установка разделения компонентов, обезвреживания и утилизации ртутьсодержащих ламп и отходов [Текст]. – Введ. 2015-02-12 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ФБУ «Краснодарский ЦСМ». – 2015. – 19 с.

Получено 10.10.2018

Л. М. АБАКУМЕНКО^{a, b}, В. М. РАДІОНЕНКО^b
ПРО ПЕРСПЕКТИВИ ДЕМЕРКУРИЗАЦІЇ ТА УТИЛІЗАЦІЇ
ЛЮМИНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП НА ТЕРИТОРІЇ ДОНЕЦЬКОЇ НАРОДНОЇ
РЕСПУБЛІКИ

^a «Макіївський науково-дослідний інститут з безпеки робіт у гірничій промисловості»,
^b ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті викладено матеріал про стан питання, яке пов’язане з демеркуризацією та утилізацією люмінесцентних ламп на території Донецької Народної Республіки. Проаналізовано способи і методи в галузі утилізації ртутьмісних відходів. Розглянуто основні види спеціалізованого обладнання, що застосовується у відповідній галузі. Описані принципи дії і наведені дані технічних характеристик деяких демеркуризувальних установок, в основу яких покладені дані методи. Зіставлені

технічні характеристики, виявлені основні переваги і недоліки. Наведено дані про досвід експлуатації певних установок в різних країнах. На підставі чого запропоновано деякі рекомендації. Обґрунтовано необхідність створення спеціалізованих організацій на території Донецької Народної Республіки, які мали б право здійснювати діяльність у сфері демеркуризації та утилізації люмінесцентних ламп. Для реалізації запропонованих способів щодо недопущення утворення екологічних і техногенних катастроф виникає гостра необхідність прийняття відповідних рішень на законодавчому рівні.

Ключові слова: відходи, утилізація, демеркуризація, люмінесцентні лампи, ртуть, екологічна небезпека.

LIUBOV ABAKUMENKO ^{a,b}, VITALY RADIONENKO ^b
ABOUT PROSPECTS OF DEMERCURIZATION AND UTILIZATION OF
FLUORESCENT LAMPS IN THE TERRITORY OF DONETSK PEOPLE'S
REPUBLIC

^a Makeevka Research Institute for the Safety of Works in the Mining Industry, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article presents the material on the state of the issue, which is associated with the demercurization and disposal of fluorescent lamps in the territory of the Donetsk people's Republic. The methods and methods in the field of mercury-containing waste disposal are analyzed. The main types of specialized equipment used in the relevant industry are considered. The principles of operation are described and the data of technical characteristics of some demercurizing installations, which are based on these methods, are given. Technical characteristics are compared, the main advantages and disadvantages are revealed. The data on the experience of operation certain installations in different countries. On the basis of what some recommendations are proposed. The necessity of creation of the specialized organizations in the territory of Donetsk people's Republic which would have the right to carry out activity in the sphere of demercurization and utilization of fluorescent lamps is proved. For the implementation of the proposed methods to prevent the formation of environmental and man-made disasters there is an urgent need to take appropriate decisions at the legislative level.

Key words: waste, recycling, decontamination, fluorescent lamps, mercury, an environmental hazard.

Абакуменко Любовь Николаевна – инженер по охране окружающей среды Макеевского научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности; магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и утилизация промышленных отходов.

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

Абакуменко Любов Миколаївна – інженер з охорони навколошнього середовища Макіївського науково-дослідного інституту з безпеки робіт у гірничій промисловості; магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і утилізація промислових відходів.

Радіоненко Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання паливно-мастильних матеріалів.

Abakumenko Liubov – environmental engineer at Makeevka Research Institute for the Safety of Works in the Mining Industry; master's student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing and utilization of industrial.

Radionenko Vitaly – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing and re-use of fuels and lubricants.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| САМОЙЛОВА Е. Э., МАСЛОВА А. В., ДЕНИСЕНКО Д. А. Разработка способа очистки газовых выбросов в производстве эпоксидных смол | 5 |
| ЗАХАРОВ В. И., ГОЛОВАЧ Ю. А., ЗНАХАРЯНЦ А. И. Состояние воздушной среды в помещениях, в которых установлены газовые плиты, и кратности воздухообмена, необходимые для приведения ее к нормативным требованиям | 10 |
| ЗЯТИНА В. И., КОВАЛЬЧИК О. С., ТУДОР А. А., РЫБАЛКО П. В. Водоподготовка для отопительно-производственных котельных | 18 |
| КЛЯУС Б. В., ВЫБОРНОВ Д. В., ПЛУЖНИК А. В. Влияние изменений параметров микроклимата рабочей зоны помещений на организм человека | 26 |
| ЛИННИК Р. А., МАКСИМОВА Н. А. Использование схем абсорбционного типа солнечного охлаждения | 32 |
| ЯЛАЛОВА М. М., СЕРДЮК А. И. Влияние ПАВ на выбросы фторидов с поверхности борфтористоводородного электролита для переработки свинцовых аккумуляторов | 37 |
| БАЛИНЧЕНКО О. И., МАНДРЫКИН Д. Н. Улучшение системы водоснабжения пгт Седово | 42 |
| ПАВЛЮЧЕНКО А. С., ГРИГОРЕНКО Н. И. Расстановка неподвижных опор при проектировании систем водоснабжения и канализации на эстакадах | 51 |
| ДЕРЕВЯНКО М. С. Конструкция пилотной установки тонкослойного пульсационного илоотделителя колонного типа и её испытание | 56 |
| ДОСТОВАЛОВА Д. А., ПОДГОРОДЕЦКИЙ Н. С., НИКОЛАЕВА Л. В. Анализ производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в Донецкой Народной Республике за 6 месяцев 2018 года | 60 |
| НЕЗДОЙМИНОВ В. И., ЗАВОРОТНЫЙ Д. В., ГОДОВИЧЕНКО О. В. Линии тока аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации | 67 |
| РОЖКОВ В. С., АКУЛОВА Ю. Г., ГРЕБЕНЮК Н. А. Определение параметров фильтрования природных вод на дробленном антраците | 73 |
| НЕЗДОЙМИНОВ В. И., ЧЕРНЫШЕВ В. Н., КИЖАЕВ В. Ф., МОГУКАЛО А. В. Аспекты обезвреживания осадков сточных вод. содержащих ионы тяжелых металлов | 79 |
| СУЛТАНОВА М. В., СЕРДЮК А. И., ЗЫРЯНОВ С. П. Переработка свинцово-кислотных аккумуляторов в малеиновом электролите | 84 |
| ТРЯКИНА А. С. Научное обоснование расчетных показателей качества исходной воды при выборе технологической схемы водоочистки | 90 |
| БАШЕВАЯ Т. С., ШЕЙХ А. А. Изменение эмиссии загрязняющих веществ в зависимости от архитектурно-технических характеристик возводимых зданий | 96 |
| КАЧАН В. Н., ЛУКЬЯНОВ А. В., КОНОПАЦКИЙ Е. В. Теория расчёта процесса теплообмена в жаротрубных котлоагрегатах с тупиковой топкой | 102 |
| ГУЛЬКО С. Е., ВЫСОЦКИЙ С. П. Особенности использования шахтных вод в промышленных целях | 109 |
| АБАКУМЕНКО Л. Н., РАДИОНЕНКО В. Н. О перспективах демеркуризации и утилизации люминесцентных ламп на территории Донецкой Народной Республики | 116 |

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| САМОЙЛОВА О. Е., МАСЛОВА А. В., ДЕНИСЕНКО Д. О. Розробка способу очищення газових викидів у виробництві епоксидних смол | 5 |
| ЗАХАРОВ В. І., ГОЛОВАЧ Ю. О., ЗНАХАРЯНЦ О. І. Стан повітряного середовища в приміщеннях, в яких встановлені газові плити, і кратності повітрообміну, необхідні для приведення його до нормативних вимог | 10 |
| ЗЯТИНА В. І., КОВАЛЬЧИК О. С., ТУДОР А. А., РИБАЛКО П. В. Водопідготовка для опалювально-виробничих котелень | 18 |
| КЛЯУС Б. В., ВИБОРНОВ Д. В., ПЛУЖНИК А. В. Вплив змін параметрів мікроклімату робочої зони приміщень на організм людини | 26 |
| ЛИННИК Р. О., МАКСИМОВА Н. А. Використання схем абсорбційного типу сонячного охолодження | 32 |
| ЯЛАЛОВА М. М., СЕРДЮК О. І. Вплив ПАР на викиди фторидів з поверхні борфтористоводневого електроліту для переробки свинцевих акумуляторів | 37 |
| БАЛІНЧЕНКО О. І., МАНДРИКІН Д. М. Поліпшення системи водопостачання смт Седове | 42 |
| ПАВЛЮЧЕНКО О. С., ГРИГОРЕНКО Н. І. Розміщення нерухомих опор при проектуванні систем водопостачання та каналізації на естакадах | 51 |
| ДЕРЕВ'ЯНКО М. С. Конструкція пілотної установки тонкошарового пульсаційного муловідділювача колонного типу та її випробування | 56 |
| ДОСТОВАЛОВА Д. О., ПОДГОРОДЕЦЬКИЙ М. С., НІКОЛАЄВА Л. В. Аналіз виробничого травматизму та професійної захворюваності в Донецькій Народній Республіці за 6 місяців 2018 року | 60 |
| НЕЗДОЙМІНОВ В. І., ЗАВОРОТНИЙ Д. В., ГОДОВІЧЕНКО О. В. Лінії течії аеротенка-освітлювача з затопленою ерліфтною системою аерації | 67 |
| РОЖКОВ В. С., АКУЛОВА Ю. Г., ГРЕБЕНЮК Н. А. Визначення параметрів фільтрування природних вод на дробленому антрациті | 73 |
| НЕЗДОЙМІНОВ В. І., ЧЕРНИШЕВ В. М., КИЖАЕВ В. Ф., МОГУКАЛО А. В. Аспекти знешкодження осадів стічних вод, що містять іони важких металів | 79 |
| СУЛТАНОВА М. В., СЕРДЮК О. І., ЗИРЯНОВ С. П. Переробка свинцево-кислотних акумуляторів в малійновому електроліті | 84 |
| ТРЯКІНА А. С. Наукове обґрунтування розрахункових показників якості вихідної води при виборі технологічної схеми водоочищення | 90 |
| БАШЕВА Т. С., ШЕЙХ О. О. Зміна емісії забруднюючих речовин залежно від архітектурно-технічних характеристик будівель, що споруджуються | 96 |
| КАЧАН В. М., ЛУК'ЯНОВ О. В., КОНОПАЦЬКИЙ Є. В. Теорія розрахунку процесу теплообміну в жаротрубних котлоагрегатах з тупіковою топкою | 102 |
| ГУЛЬКО С. Є., ВИСОЦЬКИЙ С. П. Особливості використання шахтних вод в промислових цілях | 109 |
| АБАКУМЕНКО Л. М., РАДІОНЕНКО В. М. Про перспективи демеркуризації та утилізації люмінесцентних ламп на території Донецької Народної Республіки | 116 |

CONTENTS

| | |
|--|-----|
| SAMOJLOVA HELEN, MASLOVA ANASTASIA, DENISENKO DARIA. Development of Method of Cleaning of Gas Extras is in the Production of Epoxy Resins | 5 |
| ZAKHAROV VICTOR, GOLOVACH YULIA, ZNAKHARIANTS OLEKSANDR. Condition of the Air Environment in Premises in which Gas Cookers are Placed, and the Ventilation Rates, which are Necessary to Bring it to Regulatory Requirements | 10 |
| ZIATINA VITALII, KOVALCHIK OLGA, TYDOR ANNA, RIBALKO PETER. Water Treatment for Heating and Industrial Boiler Rooms | 18 |
| KLYAUS BOGDAN, VYBORNOV DMITRY, PLUZHNIK ANASTASIA. The Effect of Changes in the Microclimate Parameters of the Working Area of the Premises on the Human Body | 26 |
| LINNIK ROMAN, MAKSIMOVA NATALYA. Using of Absorption Cooling Type Solar Circuits | 32 |
| YALALOVA MARGARITA, SERDYUK ALEXANDER. Influence of Surfactants on Fluoride Emissions from the Surface of Flu Boric Electrolyte for Recycling Lead Batteries | 37 |
| BALYNCHENKO OKSANA, MANDRYKYN DMITRY. Improvement of the Settlement of City Type Sedovo Water System | 41 |
| PAVLUCHENKO ALEKSANDR, GRIGORENKO NADEZHDA. Arrangement of Fixed Supports during Aboveground Installation of the Water Supply and Sewage Pipelines | 51 |
| DEREVYANKO MIKHAIL. Construction of the Pilot Installation of the Thin-Layer Pulsating Sludge Separator of the Column-Type and its Test | 56 |
| DOSTOVALOVA DARIA, PODGORODETSKY NICHOLAS, NIKOLAEVA LARISA. Analysis of Occupational Injuries and Morbidity in the Donetsk People's Republic for 6 Months of 2018 | 60 |
| NEZDOYMINOV VIKTOR, ZAVOROTNYI DMITRII, GODOVICHENKO OKSANA. Streamlines of the Aerator-Clarifier Unit with Flooded Aeration System | 67 |
| ROZHKO VITALY, AKULOVA JULIA, GREBENYUK NATALIYA. Determination of Filtration Parameters through Crushed Anthracite of Natural Waters | 73 |
| NEZDOYMINOV VIKTOR, CHERNYSHEV VALENTIN, KIZHAEV VITALY, MOGUKALO ANASTASIA Aspects of Active Sludge Containing Heavy Metal Ionsutilization | 79 |
| SULTANOVA MARIA, SERDYUK ALEXANDER, ZYRYANOV SERGEY. Processing of Lead-Acid Batteries in Maleic Electrolyte | 84 |
| TRYAKINA ALYONA. Scientific Justification of Calculating Indicators of the Quality of Initial Water for Choice the Technological Water Purification Scheme | 90 |
| BASHEVAYA TATIANA, SHEIKH ALEXANDRA. The Change in the Emission of Pollutants Depending on the Architectural and Technical Characteristics of Buildings under Construction | 96 |
| KACHAN VLADIMIR, LUKYANOV ALEXANDER, KONOPATSKIY EVGENIY. Theory of the Heat Transfer Process Calculation in Fire-Tube Boilers with a Stub Substract | 102 |
| GULKO SERGEY, VYSOTSKIY SERGEY. Features of the use of mine water for industrial purposes | 109 |
| ABAKUMENKO LIUBOV, RADIONENKO VITALY. About prospects of demercurization and utilization of fluorescent lamps in the territory of Donetsk People's Republic | 116 |