

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
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 2013-5(103)

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА
ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2013

Засновник і видавець

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 9643
видано 02 березня 2005 року Державним комітетом телебачення і радіомовлення України

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.

Друкується за рішенням вченої ради
Донбаської національної академії будівництва і архітектури
Протокол № 2 від 28.10.2013

Редакційна колегія:

Горохов Є. В., д. т. н., професор (головний редактор);
Мущанов В. П., д. т. н., професор (відповідальний редактор випуску);
Лук'янов О. В., д. т. н., професор (відповідальний редактор випуску);
Удовиченко З. В., к. т. н., доцент (відповідальний секретар випуску).
Насонкіна Н. Г., д. т. н., професор;
Найманов А. Я., д. т. н., професор;
Кравец В. А., д. т. н., професор;
Погребняк В. Г., д. т. н., професор;
Куліков М. І., д. т. н., професор;
Соколов В. І., д. т. н., професор;
Андрійчук М. Д., д. т. н., професор;
Нездоймінов В. І., к. т. н., доцент.

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

Підписано до друку 18.11.2013 Формат 60x84 1/8. Папір багатофункціональний офісний.
Друк різнографічний. Умов. друк. арк. 21.87 Тираж 300 прим. Заказ 183-13

Адреса редакції і видавця

Україна, 86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,
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.edu.ua,
http://donnasa.edu.ua/ru/publishing_house/vestnik

Постановою Президії ВАК України від 27.05.2009 р. № 1-05/2 журнал внесено до переліку
наукових фахових видань із технічних наук та архітектури
Надруковано у поліграфічному центрі ДонНАБА
86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

© Донбаська національна академія
будівництва і архітектури, 2013

УДК 628.1

А. С. ТРЯКИНА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ КАНАЛА СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ – ДОНБАСС

В работе отражены результаты исследования динамики показателей качества воды за 20 лет. На основании анализа усредненных данных многолетних наблюдений по качеству воды в канале Северский Донец – Донбасс определены наиболее часто встречающиеся ингредиенты природного и антропогенного происхождения (фенолы, нефтепродукты, пестициды, ПАВ, соединения азота и соли тяжелых металлов) и их концентрации, подтверждающие рост и негативное влияние в последние годы антропогенных нагрузок на источники хозяйственно-питьевого назначения. Выявлены особенности превышения ПДК примесей в воде.

водоснабжение, качество воды, очистка воды, антропогенные загрязнения

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В постиндустриальном обществе водоснабжение городов Украины претерпевает изменения. Системы водоснабжения Украины на 80 % обеспечиваются поверхностными водами. Несмотря на снижение токсичных выбросов промышленности в поверхностные источники воды в последние годы состояние водных объектов значительно не улучшилось. Одной из основных причин загрязнения и деградации поверхностных вод является неудовлетворительное состояние канализационных очистных сооружений, что с каждым годом приводит к постепенному ухудшению качества воды в источниках. В то же время отмечается значительное снижение водопотребления городами. Все это ведет к ухудшению качества питьевой воды систем водоснабжения, так как существующие водопроводные очистные сооружения не в состоянии справиться с нарастающей нагрузкой. При разработке технологии очистки на очистных сооружениях в качестве расчетных использовались максимальные значения показателей качества воды, что привело к завышенным затратам при строительстве и эксплуатации сооружений. Таким образом, изучение динамики изменения показателей качества воды в источниках позволит корректировать расчетные показатели систем очистки воды и разработать методы и технические решения для повышения их эффективности.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Гидрохимический режим поверхностных источников питьевой воды формируется под влиянием природных факторов в условиях интенсивной хозяйственной деятельности на водосборах. Кроме традиционных природных воздействий, качество воды формируют рассеянные и точечные источники техногенной нагрузки, интенсивность процессов эвтрофирования водоемов. Сочетание отдельных природных и антропогенных факторов вызывают суммарные эффекты воздействия и, в значительной степени, изменяющие природный гидрохимический режим водного объекта, что осложняет обоснование проектных решений процессов водоподготовки.

Инженерные методы и технологии использования гидрохимической информации в практике проектирования и эксплуатации водопроводных очистных сооружений недостаточно разработаны и не дают четких рекомендаций обработки, анализа и расчетов исходных данных по водоисточникам. 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 и А. О. Родина. Ж. М. Говоровой была разработана новая методика оценки качества исходной воды, основанная на взаимосвязи индекса показателя качества воды (ИКВ)

© А. С. Трякина, 2013

с показателями риска здоровья населения от кратковременного превышения остаточных концентраций лимитируемых ингредиентов в очищенной воде над их ПДК и потенциальными возможностями назначаемой технологической схемы очистки воды [2]. А. О. Родина разработала методику обоснования расчетных показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением риска от химического загрязнения воды [1].

Учитывая, что до настоящего времени технологические схемы водоподготовки назначаются по максимальным значениям показателей качества воды, что в ряде случаев приводит к удорожанию проектов, для снижения затрат при проектировании и строительстве требуется научно обоснованное снижение максимальных значений расчетных концентраций ингредиентов при одновременном сохранении санитарно-гигиенической надежности проектируемых сооружений.

Целью предложенной работы является анализ показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс, которая используется для питьевых целей.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Представленный ниже анализ гидрохимического режима источников питьевой воды базируется на основе данных технологического контроля за показателями качества исходной воды канала Северский Донец-Донбасс в Донецкой области.

Анализ многолетнего наблюдения за качеством воды в источниках питьевого назначения выявил ряд особенностей. Необходимо отметить наличие сезонных изменений жесткости воды. Показатель жесткости воды колеблется от 3,70 до 4,20 ммоль/л. Обычно максимальное значение жесткости воды можно наблюдать в зимний период (январь – март). Во время весеннего паводка наблюдается резкое падение жесткости воды. Летом и осенью жесткость воды постоянно возрастает и достигает максимума к зиме.

Концентрация железа периодически повышается в года с большой техногенной активностью. Только в 5 % измерений наблюдалось превышение предельно допустимой концентрации по железу (ПДК), равной 0,3 мг/л (рис. 1) [3].

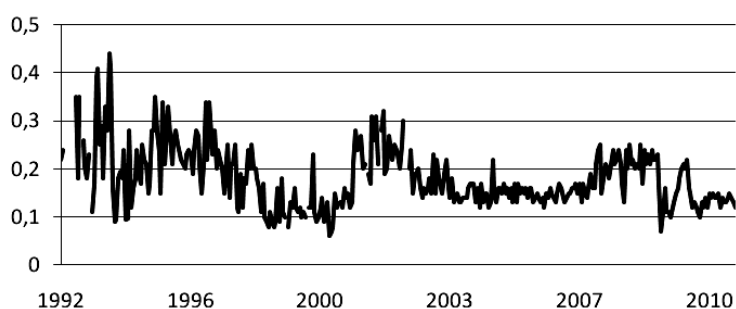


Рисунок 1 – Изменение концентрации ионов железа, Fe, мг/л.

Концентрация нитратов с 2000 года повысилась до 5–7 мг/л по сравнению с 90-ми годами, при ПДК 50 мг/л (рис. 3). В местах, где канал Северский Донец – Донбасс граничит с сельскохозяйственными полями, концентрация нитратов незначительно выше. Имеет влияние качество мелиорации полей на состав воды.

Однако концентрация нитритов в воде в последние 10 лет снизилась (рис. 2). Максимальные значения концентрации нитритов в воде не превышали ПДК 3,0 мг/л [3]. Восстановление нитратов с образованием нитритов протекает в условиях дефицита кислорода в придонных слоях воды и в донных отложениях. В совокупности с другими показателями (ХПК) концентрация нитратов и ее динамика могут служить важными показателями биохимических процессов в водоеме.

В источники питьевого назначения ПАВ могут поступать следующими основными путями:

- а) с бытовыми сточными водами в результате использования ПАВ;
- б) с промышленными сточными водами при производстве и в результате использования ПАВ в промышленности;
- в) с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей [4], [5].

ПДК поверхностно-активных веществ составляет 0,5 мг/л [3]. Отметим, что имеется тенденция к стабильному росту концентрации ПАВ и ХПК, что отражает степень загрязненности органическими соединениями (рис. 4, 5).

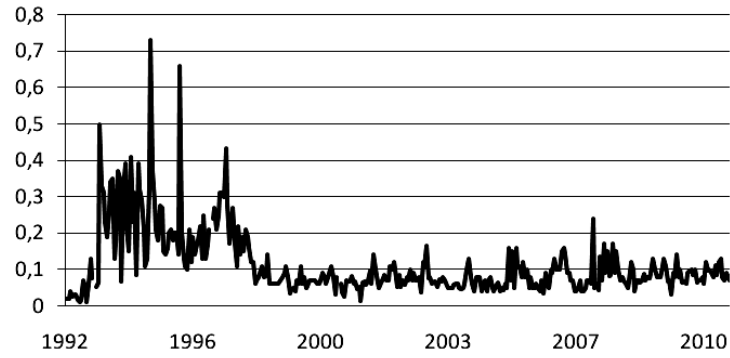


Рисунок 2 – Изменение концентрации нитритов, NO_2^- , мг/л.

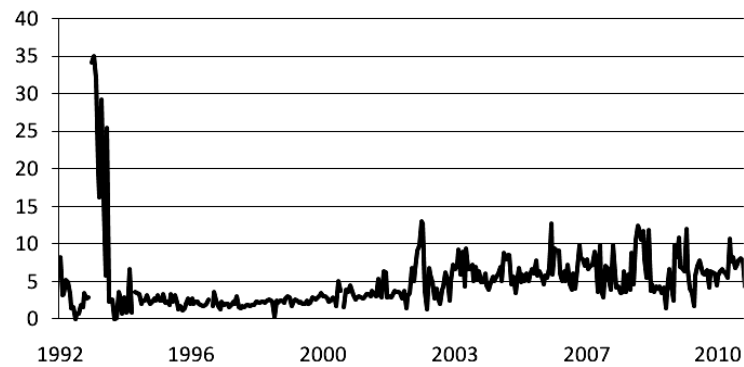


Рисунок 3 – Изменение концентрации нитратов, NO_3^- , мг/л.

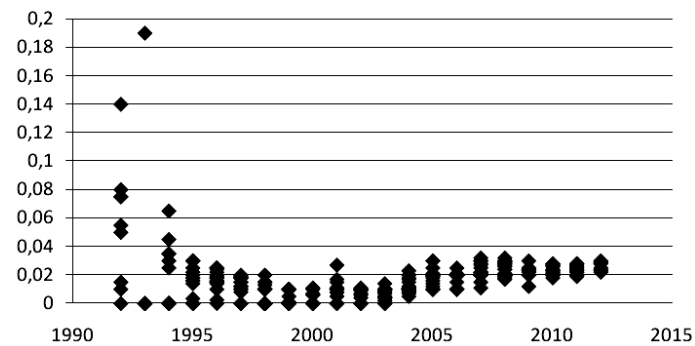


Рисунок 4 – Изменение концентрации ПАВ, мг/л.

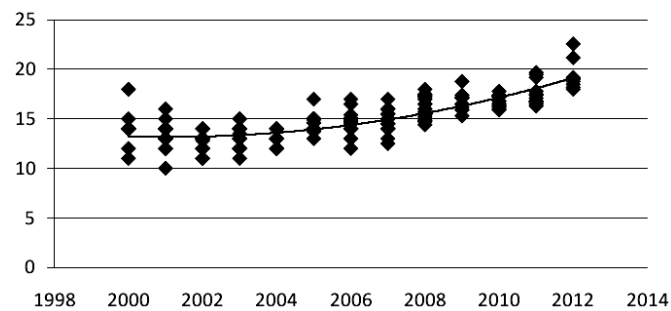


Рисунок 5 – Изменение ХПК, мг/л.

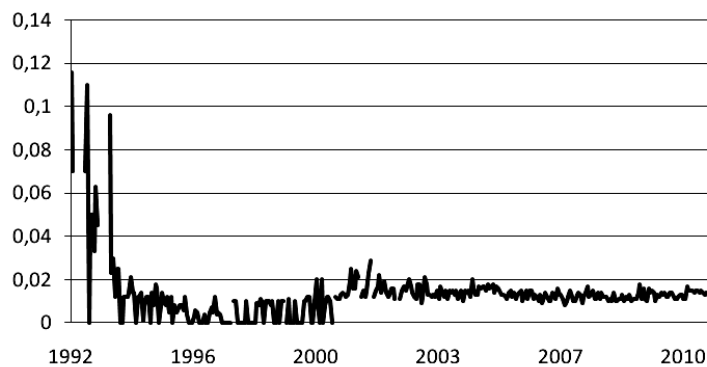


Рисунок 6 – Изменение концентрации ионов цинка, Zn, мг/л.

Анализируя сезонную динамику показателей качества воды, можно отметить, что только по содержанию взвешенных веществ и ХПК отмечен естественный гидрохимический режим. На всех водоемах и каналах в анализируемых створах нарушено естественное внутригодовое распределение содержания азота аммонийного, азота нитратного, хлоридов и сульфатов. Это вызвано их антропогенными эмиссиями с водосбора от сельских населенных пунктов, объектов животноводства, промышленных объектов (особенно в паводковые периоды), которые, накладываясь на естественный гидрохимический режим показателя, изменяют его внутригодовое распределение.

Анализ межгодовой динамики качества воды (был использован полином 3 степени) позволил выявить общие для рассматриваемых водоемов и каналов тенденции:

- рост содержания азота аммонийного и ХПК, содержащихся в стоках от населенных пунктов (для канала Северский Донец-Донбасс) при одновременном снижении концентраций нитритов вследствие сокращения масштабов внесения азотных удобрений;
- рост значений ХПК, что может рассматриваться как показатель органического загрязнения.
- в конце рассматриваемого периода (2003–2010 гг.) снижение содержания хлоридов и нефтепродуктов замедлилось (рис. 7).

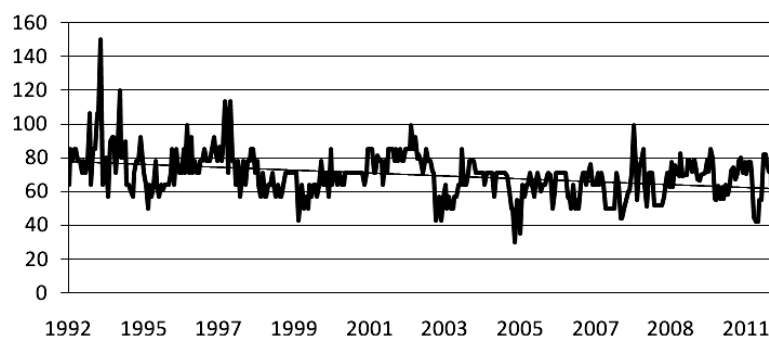


Рисунок 7 – Изменение концентрации хлоридов, мг/л.

Для составляющих воды, в формировании которых важное участие принимают природные процессы (сухой остаток, БПК₅, нитриты, железо), анализ временных рядов выявил порой диаметрально противоположные тенденции, что в первую очередь объясняется различной (по характеру и интенсивности) антропогенной нагрузкой на водоемы и их водосборы. Особенно это заметно по БПК₅. Содержание биологически мягкой органики (в пересчете на БПК₅) в водах растет начиная с 2000 года. Биологически разлагаемая органика в избытке поступает с поверхностным стоком от неорганизованных источников, расположенных на водосборе водоема. Рост содержания биологически мягкой органики в воде объясняется ростом нагрузки от источников загрязнения, поскольку роль организованных источников (предприятия машиностроения, ТЭЦ) в загрязнении водоема с 1990-х гг. снижается.

ВЫВОДЫ

В условиях снижения водопотребления городами разработка методов для комплексной оценки и прогнозирования гидрохимического режима источников водоснабжения крайне необходима для обоснования технологий водоподготовки и разработки санитарно-гигиенических мероприятий по защите водоемов питьевого назначения. При проектировании очистных сооружений из источников питьевого назначения, особенно подверженных антропогенной нагрузке, затраты на строительство и эксплуатацию сооружений возрастают из-за необходимости необоснованного применения дорогостоящих сооружений и технологий в связи с неопределенностью информации по качеству исходной воды.

В качестве определяющих параметров для подбора водоочистных технологий предлагается использовать показатель риска здоровью человека от химического загрязнения воды, применяемый для оценки напряженности экологической ситуации различных территорий. Для характеристики гидрохимического режима источников питьевого назначения разрабатывается комплексный безразмерный показатель, включающий относительную продолжительность периода и кратность превышения ПДК по отдельным показателем или группе показателей – индекс качества воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родина, А. О. Обоснование показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением теории риска [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Родина Алла Олеговна. – Вологда, 2005. – 153 с.
2. Говорова, Ж. М. Обоснование и разработка технологий очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси [Текст] : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.23.04 / Говорова Жанна Михайловна. – Москва, 2004. – 389 с.
3. Фомин, Г. С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам [Текст] / Г. С. Фомин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ВНИИ Стандарт, 2009. – 838 с.
4. Красовский, Г. Н. Ведущие оценочные показатели в системе контроля качества воды [Текст] / Г. Н. Красовский, Н. А. Егорова // Гигиена и санитария. – 1990. – № 11. – С. 27–29.
5. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений [Текст]. В 3 т. Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Ассоциации строительных ВУЗОВ, 2004. – 493 с.

Получено 13.09.2013

А. С. ТРЯКИНА

ВИВЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ КАНАЛУ СІВЕРСЬКИЙ
ДОНЕЦЬ – ДОНБАС

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У роботі відображені результати дослідження динаміки показників якості води за 20 років. На основі аналізу даних багаторічних досліджень за якістю води в каналі Сіверський Донець – Донбас визначені інгредієнти природного та антропогенного походження, що найбільш часто зустрічаються, та їх концентрації, які підтверджують ріст та негативний вплив в останні роки антропогенних навантажень на джерела господарсько-питного призначення. Виявлені особливості перевищення ГДК домішок у воді.

водопостачання, якість води, очищення води, антропогенні забруднення

ALYENA TRYAKINA

THE STUDY OF WATER QUALITY CHANNEL SEVERSKY DONETSK – DONBAS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This paper reflects the results of the study of the dynamics of water quality for 20 years. Based on the analysis of average long-term records of water quality in the channel Seversky Donets – Donbas identified the most common ingredients of natural and anthropogenic origin (phenols, petroleum products, pesticides, surfactants, nitrogen compounds and salts of heavy metals) and their concentrations, confirming the growth and the negative effect in the last years of anthropogenic pressure on sources of drinking destination. The features of the maximum permissible concentration of impurities in the water have been found out.

water supply, water quality, water treatment, man-made pollution

Трякіна Альона Сергіївна – магістр, асистент кафедри міського будівництва та господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: очищення природних вод.

Трякина Алена Сергеевна – магистр, ассистент кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: очистка природных вод.

Tryakina Alyena – master degree, an assistant, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: purification of natural water.

УДК 628.473

И. В. САТИН

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПОСТА ИЗ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Переработка твердых бытовых отходов и осадков сточных вод путем аэробного компостирования позволяет получить ценное удобрение и снизить нагрузку на полигоны для захоронения отходов. Химический анализ полученных компостов показывает наличие необходимого количества биофильных компонентов. Санитарно-бактериологические исследования компостов показывают возможность их применения в качестве удобрения. Осадки сточных вод и полученные компосты содержат тяжелые металлы. Даны рекомендации по использованию компостов с учетом концентрации тяжелых металлов.

твердые бытовые отходы, осадки сточных вод, компостирование, тяжелые металлы

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Улучшение экологического состояния Украины в значительной мере зависит от разработки технических решений и методов утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) и осадков сточных вод (ОСВ). Традиционное захоронение отходов на полигонах и картах приводит к росту отторгаемых земель, загрязнению грунтовых вод, почв, способствует распространению паразитарных заболеваний. Разработанные методы совместной утилизации и обезвреживания биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ путем аэробного компостирования позволяют снизить на 30–40 % нагрузку на полигоны ТБО и предотвратить негативное воздействие на окружающую природную среду. В результате компостирования получается органическое удобрение. Однако возникает ряд вопросов, связанных с реализацией полученного продукта. ОСВ, как правило, содержат соли тяжелых металлов и в результате компостирования их содержание не изменяется.

ВЗАИМОСВЯЗЬ С ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАНИЯМИ

Работа выполнена в поддержку государственной темы К 3–06–01 «Повышение эффективности систем городского хозяйства» и региональной программы «Охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности Донецкой области до 2010 года»; Государственной программы «Ресурсосбережение», утвержденной ГКНТ Украины от 31.03.1993 г.

Целью работы является разработка рекомендаций по рациональному использованию органического удобрения, полученного путем совместного компостирования ОСВ и биоразлагаемой фракции ТБО.

Поставлены следующие **задачи**:

- 1) изучить химический состав и санитарные свойства ОСВ, ТБО и полученного компоста;
- 2) дать рекомендации рационального использования компоста.

ИЗЛОЖЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Качественная определенность биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ всегда соответствует некоторому промежутку времени и проявляется как способность этих отходов к известной смене состояний или пребыванию в известном состоянии за рассматриваемый промежуток времени. Таким образом, химический состав и токсические свойства отходов различны для разных населенных пунктов и изменяется в течение времени.

© И. В. Сатин, 2013

Изучаемые компосты получали аэробным компостированием биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ. Эксперименты проводились в теплый период года на хозяйственно-бытовых канализационных очистных сооружениях г. Горловки. Учитывая особенности физиологии микроорганизмов, был выбран период года с температурой выше +8 °С, протяженностью 182 суток.

Химический состав исходной биоразлагаемой фракции ТБО (табл. 1) позволяет рассматривать его как ценное органическое удобрение.

Таблица 1 – Химический состав биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ (г. Горловка)

Показатель	Содержание, % от сухой массы ТБО	Содержание, % от сухой массы ОСВ
рН водной вытяжки	6,9±0,7	6,5–7,5
Зольность	5–12	49,7–72,2
Азот общий	0,9–2,4	0,32–2,87
Влажность	40–70	20,3–64,3
Кальций	4,0–5,7	–
Углерод общий	22–35	–
P ₂ O ₅	0,5–0,8	0,15–1,10
K ₂ O	0,5–1,1	0,03–0,11

ОСВ образуются в процессе очистки сточных вод на канализационных очистных сооружениях. По гранулометрическому составу исследуемые ОСВ представляют собой илы, близкие к природным алевритовым образованиям, которые содержат заметную часть примесей глинистого или песчаного материала.

Внесение ОСВ в грунт после переработки не ухудшит его физико-химические свойства. Этому способствует и практически нейтральный водородный показатель рН 6,5–7,5.

Кроме этого, ОСВ в сравнении с грунтами Донбасса характеризуются высоким содержанием общего азота и фосфора (динамичных форм этих элементов), а также высоким содержанием тяжелых металлов (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в биоразлагаемой фракции ТБО

Химический элемент	Наблюдаемый интервал содержания вещества, мг/кг по сухой массе	ПДК для с/х продуктов мг/кг	ПДК для удобрения мг/кг
Медь	0,5–5,0	5,0	200
Цинк	0,5–20,0	10,0	300
Ртуть	Следы	0,01	0,01
Кадмий	0,005–0,020	0,03	0,035
Свинец	Следы	0,5	0,15
Мышьяк	Следы	0,2	0,018

Таблица 3 – Результаты химического анализа ОСВ (КОС, г. Горловка), % масс.

Участок 1, пробы «конвертом»						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O
46,41±0,14	10,13±0,10	9,14±0,13	6,08±0,10	1,83±0,01	0,94±0,02	0,79±0,02
Участок 2, пробы «конвертом»						
16,69±0,050	7,77±0,10	7,23±0,050	11,44±0,07	3,23±0,01	0,62±0,02	0,32±0,03
Участок 3, пробы «конвертом»						
18,21±0,06	6,31±0,05	11,03±0,050	12,85±0,07	3,36±0,005	0,59±0,02	0,31±0,02

Атомно-абсорбционной спектрофотометрией несколько элементов в сухой массе осадка не обнаружены – мышьяк, золото, гафний, цезий, сурьма, таллий, тантал, гафний, уран, торий и индий. В одной из проб обнаружили галлий, бериллий, олово, иттербий, барий, иттрий, лантан и скандий. В исследуемых образцах ОСВ (в том числе и в активном иле) присутствуют водорастворимые соли. Среди них преобладают сульфаты, нитраты и кальций. Соответственно присутствуют водорастворимые формы магния, а также гидрокарбонаты и в меньшей мере хлориды.

Исследования минеральной части ОСВ показывают наличие некоторых микроэлементов и солеобразующих веществ (табл. 3 и 4). Отметим, что суммарная засоленность ОСВ превышает в 10–20

Таблица 4 – Результаты спектрального анализа ОСВ г. Горловка (по сухому веществу)

Элемент	Содержание, мг/кг			Фоновое содержание в почвах, мг/кг	ПДК для почв, мг/кг
	I проба	II проба	III проба		
Свинец (Pb)	20	80	19	18–20	30
Никель (Ni)	50	160	70	44–57	100
Хром (Cr)	150	90	140	–	100
Медь (Cu)	150	310	120	25–30	100
Ртуть (Hg)	2,5	1,5	1,0	0,028–0,037	2,0
Стронций (Sr)	400	290	240	300–400	300
Магний (Mg)	4 700	1 420	1 890	8 000–9 970	не нормируется
Марганец (Mn)	700	210	240	1 000–2 000	1 500
Кальций (Ca)	70 000	40 000	45 000	29 600–50 000	не нормируется
Цинк (Zn)	500	750	870	90–95	300
Серебро (Ag)	7	19	5,5	23,7–32,0	не нормируется
Кадмий (Cd)	7	3	0	0,5	4
Фосфор (P)	700	3 900	1 400	6 560	–

раз содержание легкорастворимых солей в почве [1, 7]. Однако многие исследования других авторов констатируют то, что накопление растворимых солей в почве при внесении ОСВ не наблюдается. Содержание серы в ОСВ также превышает фоновый уровень почвы. Но поскольку серы в грунтах постоянно не хватает, то внесение дополнительного количества окажет положительный эффект по данному показателю.

По общим микробным загрязнениям исследуемые компосты и почвы существенно не отличаются между собой. Наиболее загрязненные активный ил (колититр 10^{-5} – 10^{-6} г) и новообразованные ОСВ (10^{-4} г). В почвах колититр составил 0,1 г.

Санитарно-бактериологическую оценку загрязненности компосты можно проводить с помощью шкалы санитарного состояния почвы по таблице 5 [2, 7].

Таблица 5 – Оценка санитарного состояния грунта

Степень безопасности	Степень загрязнения	Показатель эпидемиологической безопасности		
		Колититр, г	Число гельминтов (в окуляре)	Число Хлебникова
Безопасный	Чистый	1,0	0	0,98
Относительно безопасный	Слабо загрязненный	1,0–0,1	До 10	0,85–0,98
Небезопасный	Загрязненный	0,01–0,001	11–100	0,7–0,85
Очень опасный	Сильно загрязненный	менее 0,001	Более 100	0,7

В целом все образцы могут быть охарактеризованы как «относительно безопасные» (табл. 6). Также необходимо учитывать, что солнечная радиация воздействует дезинфицирующе на открыто расположенные участки складирования ОСВ.

Таблица 6 – Динамика санитарно-бактериологических показателей

Номер опыта	Колититр, г		Степень загрязнения
	В начале опыта	В конце опыта	
7	10^{-5}	1,0	Чистые
12	10^{-5}	10^{-1}	Слабо загрязненные

Как показывают исследования других авторов, «свежий» осадок, который находился полгода в условиях относительного анаэробноз, обладает большой фитотоксичностью [3]. Однако в процессе сохранения его происходит постепенная детоксикация и уже на четвертый год фитотоксичность уменьшается на 95 %. Через 5 лет выдержки ОСВ на иловых картах их фитотоксичность практически не отличается от контрольных тестов. При этом биопотенциал осадков не изменяется [5].

Отбор и анализ ОСВ, которые депонируются на иловых картах в разные сроки, а также однородность субстратов позволили проследить динамику изменения их состава и некоторых свойств. Стало известно, что за 5 лет хранения ОСВ почти на 60 % уменьшается количество органического вещества, происходит разложение азотсодержащих соединений (с образованием аммонийных

соединений), уменьшается содержание гумуса почти на 50 %, происходит вымывание магния, изменяется гранулометрический состав (происходит коагуляция фракций размером до 0,005 мм). Некоторые исследователи доказали, что содержание микроорганизмов в исследуемых образцах (на примере Днепропетровска) за четыре года снижается с 350–400 млн/г до 50 млн/г [7]. Эти же исследования показывают, что наибольшую активность в качестве компостируемого материала ОСВ проявляют до 12 месяцев со дня их образования.

Перечисленные закономерности показывают, что срок хранения ОСВ в качестве сырьевого материала для компостирования должен ограничиваться определенным временем. Это предстоит изучить в процессе исследования.

По санитарно-бактериологическим показателям полученные компосты по истечению эксперимента можно охарактеризовать как «чистые» или «слабо загрязненные» в опытах № 7 и 12 (табл. 6).

Другие опыты, которые не достигли в максимальной температуре 55 °С, имеют высокую загрязненность. Наличие жизнеспособных яиц гельминтов в опытах № 7 и 12 не обнаружено. Другие агрохимические и химические анализы были положительными.

Таким образом, в санитарно-гигиеническом отношении (с учетом высокой самоочистной способности почв и климатических особенностей региона) использование данного продукта в качестве удобрения можно считать безопасным.

С экологической точки зрения процесс аэробной переработки отходов можно рассмотреть как источник парниковых газов – водяной пар, оксид углерода (IV) и метана (следы). Однако необходимо учитывать, что разложение органической массы с выделением парниковых газов неизбежно как в случае переработки, так и в случае депонирования на полигонах. Также полученный компост содержит соли тяжелых металлов: Pb – 75 мг/кг, Hg – 2,8 мг/кг, Cd – 8,1 мг/кг, которые оказывают негативное влияние на санитарно-гигиеническое состояние почв [1–7]. Поэтому для почвы, в которую вносится удобрение, учитывают фоновое содержание тяжелых металлов и ПДК загрязнителей.

Известно, что уровень загрязнения грунта зависит от количества технологических выбросов и сбросов предприятий. Международным институтом риска здоровья и ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в работе по изучению размещения ОСВ, смесей на их основе и компостов, для снижения уровня химического загрязнения осадков, их обеззараживания и дегельминтизации рекомендовано компостирование [7]. Проведенные натурные исследования показали, что в экологическом и экономическом аспектах компостирование ОСВ целесообразно осуществлять с твердыми бытовыми отходами или с компостом на их основе.

Предложены следующие варианты использования полученных компостов: восстановление нарушенных земель, вертикальная планировка территорий, формирование новых территорий, благоустройство свалок, зеленое строительство, активизация выделения биогаза на полигонах (рис.).

Для защиты от микробиологического заражения рекомендуется применение дополнительного известкования компоста негашеной известью. Известь повышает значение pH и позволяет значительно снизить количество растворимых солей тяжелых металлов. Полученный таким образом компост с повышенным значением pH и содержанием извести используется как органическое удобрение. При незначительном превышении концентрации тяжелых металлов (до ЗПДК_п) рекомендуется использование этого компоста как компонента для изготовления газонного грунта путем смешивания компоста с песком в соответствующей пропорции. Такой грунт можно использовать для выращивания газонной травы и декоративных растений.

Дозу внесения компоста в почву можно вычислить по формуле:

$$D_{\text{гиз}} = \frac{(ПДК - \Phi) \cdot 3 \cdot 10^3}{C}, \quad (1)$$

где $D_{\text{гиз}}$ – доза внесения удобрения (компоста), т/га;
 $ПДК$ – предельно допустимая концентрация металла в почве, мг/кг;
 Φ – фоновое содержание металла в почве, мг/кг;
 C – содержание металла в компосте, мг/кг;
 $3 \cdot 10^3$ – коэффициент перерасчета на гектар.

Расчеты дозы внесения компоста необходимо проводить по каждому металлу отдельно и выбрать минимальную из полученных величин.

Если концентрация тяжелых металлов в компосте высокая (более ЗПДК_п), возможно использование компоста в качестве пробиотического материала для перекрытия слоев ТБО на полигонах с



Рисунок – Блок-схема рекомендуемого использования компоста.

последующей экстракцией биогаза. Укладываемый слоями компост позволяет увеличить выход биогаза из тела полигона и сократить время до начала газогенерации.

ВЫВОДЫ

- 1) показано, что компосты, полученные на основе аэробного компостирования из осадков сточных вод и биоразлагаемой фракции твердых бытовых отходов содержат необходимые биофильные элементы;
- 2) санитарно-гигиеническая оценка состояния компостов и осадков сточных вод показывает возможность их применения в качестве удобрения;
- 3) предложен способ разделения на сферы применения компостов с учетом концентрации тяжелых металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрейер, А. А. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка [Текст] / А. А. Дрейер, А. Н. Сачков, К. С. Никольский. – М.: Экология города, 1997. – 230 с.
2. Paluszak, Z. Hygienisierung von Klärschlamm aus Tierkörperbeseitigungsanstalten [Текст] / Z. Paluszak, H. Olszewska, B. Szejnuk // Tierärztliche Umschau. – 2002. – 2. – P. 85–88.
3. Roth, S. Microbiologisch-hygienische Untersuchungen zur Bioabfall-kompostierung in Mieten und in Kleinkomposten [Текст] / S. Roth. – Hohenheim: Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik der Universität Hohenheim, 1994. – 235 p.
4. Soldierer, W. Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss einer thermischen Desinfektion von Flussschlamm auf die Vermehrungsfähigkeit ausgewählter Mikroorganismen [Текст] / W. Soldierer. – Hohenheim: Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik der Universität Hohenheim, Hohenheim, 1991. – 141 p.
5. Tiguia, S. M. Composting of spend pig litter in turner and forced-aerated piles [Текст] / S. M. Tiguia, N. F. Y. Tam // Environmental Pollution. – 1998. – 99. – P. 329–337.
6. Strauch, D. Mikrobielle Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm. 3 Teil: Versuche bei der Mieten-Kompostierung von Stroh mit Faulschlamm [Текст] / D. Strauch // GWF. – 2009. – № 6. – P. 298–301.
7. Шевчук, В. Я. Биотехнология получения органоминеральных удобрений из вторичного сырья [Текст] / В. Я. Шевчук, К. А. Чеботько, В. Н. Разгуляев. – К.: изд-во «Знання», 2001. – 236 с.

Получено 13.09.2013

I. B. SATIN

**САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА КОМПОСТУ З БІОРОЗПАДНОЇ
ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Переробка твердих побутових відходів та осадів стічних вод шляхом аеробного компостування дозволяє отримати цінне добриво і знизити навантаження на полігони для захоронення відходів. Хімічний аналіз отриманих компостів показує наявність необхідної кількості біофільних компонентів. Санітарно-бактеріологічні дослідження компостів показують можливість їх застосування як добрива. Опаси стічних вод та отримані компости містять важкі метали. Надано рекомендації щодо використання компостів з урахуванням концентрації важких металів.

тверді побутові відходи, осадки стічних вод, переробка, компостування

IGOR SATIN

**SANITARY-HYGIENIC EVALUATION OF COMPOST BIODISTROY FRACTION
OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND SEWAGE SLUDGE**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Recycling of municipal solid waste and sewage sludge by aerobic composting provides a valuable fertilizer and reduce the burden on landfills. The chemical analysis of the compost indicates the presence of the required number of biophylic components. Sanitary-bacteriological tests indicate the possibility of compost their use as a fertilizer. Sewage sludge and compost contain heavy metals. The recommendations for the use of compost with the concentration of heavy metals.

municipal waste, sewage sludge, recycling, composting

Сатін Ігор Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва і господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка відходів.

Сатин Игорь Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка отходов.

Satin Igor – PhD (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of novel technologies of composting.

УДК 658.567

Т. Н. ТКАЧЕНКО, В. В. ХАЗИПОВА, С. В. САВЕНКОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ Г. МАКЕЕВКИ ЗА 2008–2011 ГОДЫ

Содержится систематизированная информация об: отходах, их видах, образовании; состоянии зеленых зон и земельных ресурсов в городе Макеевке, приводится анализ техногенных воздействий на окружающую среду, дается оценка экологической безопасности, характеризуются мероприятия по управлению качеством окружающей среды.

отходы производства и потребления, земельные ресурсы, зеленые насаждения

Все то, что производится, добывается и потребляется, рано или поздно превращается в отходы. Все образующиеся отходы делят на отходы производства (промышленные) и потребления (бытовые) [1].

Накопление отходов является одним из наиболее весомых факторов загрязнения окружающей среды и негативного влияния на все ее компоненты. Инфильтрация захороненных отходов, пылеобразование в процессе их размещения, ветровая и водная эрозии, миграция токсичных веществ приводят к загрязнению подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха, земельных ресурсов.

Наличие в городе угольных, металлургических и коксохимических предприятий привело за многие годы к накоплению больших объемов промышленных отходов и загрязнению значительных территорий.

Согласно данным Главного управления статистики в Донецкой области [2] на конец 2011 года в отвалах, шламонакопителях и терриконах г. Макеевки сконцентрировано 278,7 млн тонн отходов или десятая часть областного объема.

В общем объеме отходов, образованных на предприятиях региона в 2011 году – 99,85 %, составили отходы IV класса опасности. По сравнению с предыдущими рассматриваемыми годами объемы образованных отходов IV класса опасности в 2011 г. уменьшились незначительно – на 6,6 %.

Накопления отходов I–IV классов опасности имеет тенденцию к возрастанию в 2010 и в 2011 гг.

Динамика образования и накопления отходов I–IV классов опасности за период 2008–2011 гг. на территории города Макеевки приведена на рис. 1.

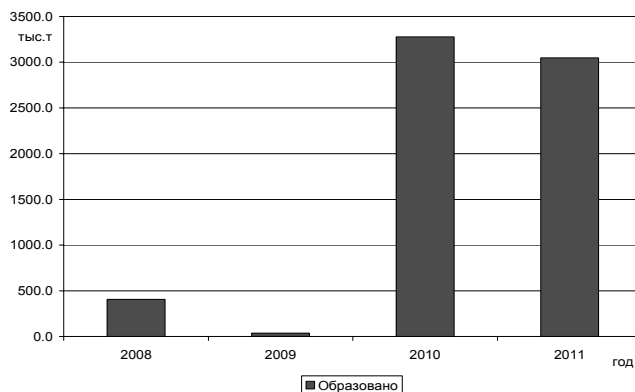


Рисунок 1 – Динамика образования отходов I–IV классов опасности за период 2008–2011 гг. на территории города Макеевки.

© Т. Н. Ткаченко, В. В. Хазипова, С. В. Савенкова, 2013

Структура образования промышленных отходов по отраслям экономики в 2011 г. приведена на рис. 2.

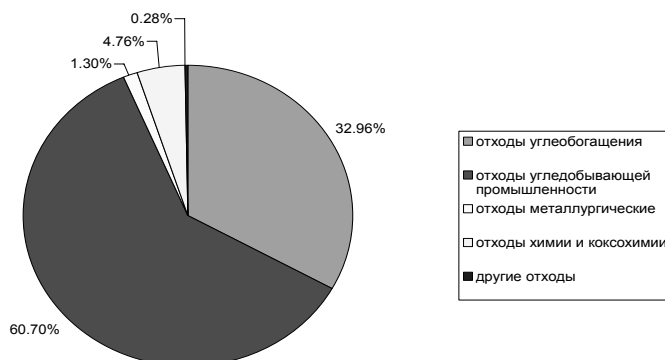


Рисунок 2 – Структура образования промышленных отходов по отраслям экономики в 2011 г., %.

Доминирующей составляющей образующихся отходов в городе являются отходы горнодобывающей промышленности. Высокая доля образования отходов в угольной промышленности непосредственно связана с традиционной технологией добычи угля, при которой осуществляется складирование породы на поверхности. В соответствии с принятой в Украине классификацией [3] крупнотоннажные отходы относятся к отходам IV класса опасности. Как правило, эти отходы очень объемные и представляют опасность в основном за счет ландшафторазрушающих воздействий.

Резкое снижение образования металлургических отходов (1,3 %) – 2011 г. по сравнению с 32 % в 2007 году произошло в результате реорганизации Макеевского металлургического завода (ММЗ) и вывода из эксплуатации доменного и мартеновского производства. В настоящее время на отвалах бывшего металлургического завода накопилось значительное количество твердых отходов: доменного шлака – 4,872 млн тонн, мартеновского – 4,351 млн тонн.

Отдельную группу токсичных отходов представляют отходы предприятий химической и коксохимической промышленности. Наиболее известные предприятия по объему образования опасных отходов – ПАО «Ясиновский коксохимический завод» и ЧАО «Макеевкокс». На этих предприятиях образуется более 1,5 тыс. тонн опасных отходов в год. Отходы этой группы, как правило, характеризуются высокой неоднородностью состава и физико-химических свойств. Опасные химические вещества потенциально могут оказывать сильные негативные воздействия на здоровье населения и окружающую среду региона.

Непосредственную опасность представляют отходы I–III классов опасности, накопленный объем которых к концу 2011 года составил 4 614,3 тыс. т.

При наличии тенденции снижения общего количества отходов наблюдается устойчивая тенденция уменьшения образования опасных отходов и уменьшения их доли в общем объеме.

В целом под отходами в городе занято 1 500 га территории Макеевского горсовета, что составляет 3,71 % земельного фонда города. Только породные отвалы занимают площадь 733 га, что составляет 1,70 % от общей территории города. Кроме них, в городе размещены шламонакопители углеобогаительных, коксохимических производств, отвалы вскрышных пород и др. Промплощадки ряда ликвидируемых (и ликвидированных) предприятий также являются свалками промышленных отходов.

Важнейшей экологической задачей для города является уменьшение количества накопленных отходов, что возможно за счет сокращения их образования и увеличения степени использования I–IV класса опасности.

Основной задачей в сфере обращения с отходами в городе является создание необходимых мощностей по утилизации и обезвреживанию опасных промышленных отходов, а также систем экологически безопасного их удаления. Фактически речь идет о новой отрасли хозяйственной деятельности в регионе. Перспективной задачей также является переориентация промышленного комплекса на менее материалоемкие процессы производства со значительным снижением объемов образования отходов.

В ближайшие несколько лет можно ожидать уменьшения объемов образования промышленных отходов, что связано с уменьшением производства металла и угля в период мирового финансового кризиса. Уровень использования крупнотоннажных отходов изменится незначительно и останется на уровне 20–25 % от объемов их образования.

Твердые бытовые отходы (ТБО), которые образуются в городе, размещаются на Макеевском городском полигоне.

Доля населения города, охваченного санитарной очисткой, составляет 53 %. Общий объем вывозимых ТБО составляет 280 тыс. м³ в 2009 году и 528 тыс. м³ в 2010 году. Возросшее за последние годы количество бытовых отходов связано прежде всего с изменившимся уровнем потребления промышленных и продовольственных товаров населения, живущего по принципу «купил-потребил-выкинул».

Основная масса отходов (свыше 350 тыс. м³) размещается на полигоне в районе шахты имени Бажанова. Действующая городская свалка не отвечает современным санитарно-экологическим требованиям.

В Макеевке уровень сбора бытовых отходов составляет 140–265 кг на душу населения. Значительная часть твердых бытовых отходов и строительного мусора поступает на стихийные свалки. В черте города имеется свыше 300 стихийных свалок. Количество находящихся отходов на этих свалках превышает 50 тыс. м³, а площадь замусоренных земель составляет 3,5 га. Периодически несанкционированные свалки ликвидируются. Так, в 2009 году ликвидировано 320 единиц, а в 2010 году – 250 единиц.

В сфере обращения с твердыми бытовыми отходами имеется несколько крупных проблем: отсутствие в системе удаления ТБО крупнотоннажного весового оборудования; большое количество населения на ограниченных территориях [4]. В таком индустриальном городе, как Макеевка, важным фактором создания благоприятных условий для жизни является наличие естественных и искусственных природных объектов. Сегодня в Макеевке существует серьезная проблема, связанная с состоянием зеленых зон города, которая требует безотлагательного решения. Городские зеленые насаждения испытывают значительные неблагоприятные воздействия.

Зеленые насаждения Макеевки занимают важное место в решении проблем охраны и улучшения состояния окружающей среды, выполняют комплекс оздоровительных, рекреационных, защитных функций, выступают стабилизатором экологического равновесия.

Площадь зеленых насаждений в Макеевке, по данным 2011 года, занимает 7 581,15 гектара. Насколько озеленение важно для города показывает тот факт, что человек за сутки пропускает через легкие в среднем 25 килограммов воздуха. Система зеленых насаждений – один из важнейших факторов в создании лучших экологических, микроклиматических, санитарно-гигиенических жизненных условий для населения, в формировании культурного ландшафта и рекреационных зон города. Именно зеленые насаждения Макеевки в будущем будут играть основную роль в смягчении негативных последствий глобальных изменений климата и в адаптации к экстремальным погодным явлениям, связанным с этими изменениями.

Данные о зеленых насаждениях города за 2009–2011 гг. представлены в табл. 1.

Одной из основных причин деградации зеленых ландшафтов [5] в нашем регионе, является промышленная и жилая застройка, а также высокое освоение и распаханность территории.

Больше всего влияют на изменение земель и почв процессы техногенного воздействия, которые связаны с промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, транспортом и урбанизацией территорий.

Среди основных факторов, представляющих угрозу для земель и биосферы, необходимо выделить физическую деградацию земель (эрозия, уплотнение, перемещение больших объемов грунта), загрязнение, засоление и истощение почв, уменьшение биологического разнообразия.

Для почв и земель города характерны: загрязненность тяжелыми металлами и нефтепродуктами, нарушение кислотно-щелочного баланса и физико-химических свойств, наличие включений строительного и бытового мусора, низкое содержание в почвах питательных элементов, что связано с интенсивной техногенной нагрузкой. В городе значительная доля земель занята промышленной и жилой застройкой (около 26 %). По абсолютной площади застроенных территорий Макеевка занимает второе место после города Донецка среди всех городов Донецкой области.

В Макеевке произрастает несколько тысяч видов растений. По своим природным особенностям городская территория относится к зоне, достаточно благоприятной для выращивания древесной и кустарниковой растительности. Однако состояние зеленых насаждений связано с их возрастом, антропогенной нагрузкой, местом посадки и уходом. Важным фактором для произрастания растений является также качество городских земель и почв. Биоразнообразие на территории города тесным образом связано с лесами и землями, покрытыми лесной растительностью. Лесофонд Макеевки составляют леса государственного фонда ГП «Донецкое лесное хозяйство». К лесам отнесены также

Таблица 1 – Отчет о зеленых насаждениях города за 2009–2011 гг.

Показатели	Года		
	2009	2010	2011
Общая площадь зеленых насаждений, га	4 583,65	7 581,15	7 581,15
Площадь зеленых насаждений общего пользования, охваченных уходом, га	223,6	224,8	224,8
Площадь зеленых насаждений общего пользования – всего, га	2 142,95	2 144,15	2 144,15
в том числе:			
парки культуры и отдыха	120	120	120
парки городские, районные, сады жилых районов при жилых домах	434,0	434,0	434,0
скверы	261,0	262,2	262,2
набережные и бульвары	3,0	3,0	3,0
гидропарки, лугопарки, лесопарки	–	–	–
другие объекты благоустройства	1 324,95	1 324,95	1 324,95
Расходы на содержание зеленых насаждений общего пользования – всего, тыс. грн.	2715,6	2 223,6	2347,0
в том числе:			
материальные расходы	1 357,8	847,6	912,5
расходы на оплату труда	274,9	449,7	439,0
отчисления на социальные мероприятия	102,8	163,3	151,8
амортизация	11,2	41,0	36,5
другие операционные расходы	968,9	722,0	807,2
Кредиторская задолженность – всего, тыс. грн.	2 572,3	3 387,0	3 947,2
в том числе с оплаты труда	54,6	59,9	79,8
Дебиторская задолженность – всего, тыс. грн.	712,7	580,2	511,8
Площадь зеленых насаждений ограниченного пользования – всего, га	77,5	77,6	77,6
в том числе на территории:			
жилых районов и микрорайонов	15,5	15,5	15,9
дошкольных учреждений	5,5	5,5	5,5
учебных заведений	13,0	12,9	12,0
учреждений здравоохранения	9,4	9,4	9,4
промышленных предприятий	24,1	24,0	24,5
другие	10,3	10,3	10,3
Площадь зеленых насаждений специального назначения – всего, га	224,0	224,2	224,2
в том числе насаждения:			
вдоль улиц	55,8	56,0	56,0
санитарно-защитных зон	69,0	69,0	69,0
другие	99,2	99,2	99,2
Площадь городских лесов, га	2 138,9	5 135,2	5 135,2

зеленые насаждения вдоль автомобильных и железных дорог, а также посадки вдоль канала Северский Донец – Донбасс. Лесные насаждения в основном искусственного происхождения, естественные леса небольшими участками произрастают в балках и поймах малых рек. Из 29-ти урочищ Макеевского лесничества на территории города находится 21 урочище: Батман-1, Батман-2, Ново-Калиново, Сухая Калиновая, Ново-Бутовка, Щегловка, Северное Ханженково и другие.

Общая площадь лесов составляет 5 135,2 га, из них в городской черте – 4 456 га. В лесных урочищах города произрастают клен, тополь, ясень и берест, иногда встречается сосна и дуб, в полезащитных лесных полосах – дуб, полевой и татарский клены, ясень, белая акация, абрикос и шелковица. Сегодня территория существующих зеленых насаждений в городе явно недостаточна, особенно это касается насаждений общего пользования – парков, скверов, городских садов, бульваров и других объектов. На территории города находится 10 парков и 28 скверов.

Мероприятия по сохранению и воспроизводству зеленых насаждений в 2010–2011 гг. в г. Макеев-ка представлены в таблице 2.

Важным показателем, который определяет санитарно-гигиеническое состояние города, его функциональные и эстетические качества, является уровень озеленения, представляющий собой отношение общей площади зеленых насаждений общего пользования к численности жителей. Для Макеев-ки рекомендуемый уровень обеспеченности зелеными насаждениями общего пользования в пределах застройки составляет 20 м² на человека. С целью сохранения и охраны в пределах административной территории города Макеевки, биоразнообразия и редких видов естественной растительности,

Таблиця 2 – Проведення заходів по збереженню і виробництву зелених насаджень в 2010–2011 гг. в г. Макеевка

Высажено зеленых насаждений				Расчищено существующих парков и скверов, тыс. м ²	Объемы работ по ликвидации бесхозных свалок	
деревьев, ед.	кустарников, ед.	кустов роз / цветов, тыс. ед.	засеяно газонов, м ²		ед.	м ³
2010 год						
5 765	1 680	--- / 51,025	4 828	160,8	229	32 561
2011 год						
3 171	1 680	1,246 / 76.0	5 200	870,2	265	25 362

характерних природних фітоценозів, в склад яких входять ендемічні і раритетні види рослин, а також геоморфологічних елементів створен ботанічний заказник місцевого значення «Зорянська степ» площею 290,0 га на території Горняцького району г. Макеевки, поблизу пос. Межевая, Грузко-Зорянка і Грузко-Ломовка. Моніторинг цієї території буде корисним в прогнозуванні екологічних змін в антропогенно трансформованій середі з високим рівнем урбанізації, накопленні досвіду охорони і відновлення природної рослинності петрофітної степу.

Таким чином, проведений аналіз стану зелених зон і міських земель г. Макеевки свідчить про високу техногенну навантаженість на природні ландшафти. При цьому кількість зелених насаджень і рекреаційних зон не відповідає нормам забезпеченості зеленими насадженнями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сметанин, В. И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления [Текст] / В. И. Сметанин. – М.: КолосС, 2003. – 230 с.
2. Доклад Донецчини у 2011 році [Текст] : Статистичний збірник / Головне управління статистики у Донецькій області. – Донецьк : [б. и.], 2011. – 138 с.
3. ДК 005-96. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів [Текст] : Затверджено і введено в дію наказом Держстандарту України 29.02.1996 № 89. – Донецьк : ГУ статистики у Донецькій обл., 2011. – 289 с.
4. Санитарная очистка городов от твердых бытовых отходов [Текст] / Под ред. З. И. Александровой. – М.: Стройиздат, 1997. – 156 с.
5. Исаченко, А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование [Текст] / А. Г. Исаченко. – М.: Высшая школа, 1991. – 240 с.

Получено 17.09.2013

Т. М. ТКАЧЕНКО, В. В. ХАЗІПОВА, С. В. САВЕНКОВА
ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ЗЕМЕЛЬ М. МАКІЇВКА ЗА 2008–2011 РОКИ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Міститься систематизована інформація щодо відходів, їх видів, утворенні; стану зелених зон та земельних ресурсів у місті Макіївці, наводиться аналіз техногенних впливів на навколишнє середовище, дається оцінка екологічної безпеки, характеризуються заходи з управління якістю навколишнього середовища.

відходи виробництва та споживання, земельні ресурси, зелені насадження

TATIANA TKACHENKO, VERA KHAZIPOVA, SVETLANA SAVENKOVA
ECOLOGICAL STATE LANDS MAKEYEVKA FOR THE YEARS 2008-2011
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Provides systematic information about: waste types, education, state of the green areas and land resources in Makeyevka, an analysis of the technological impacts on the environment, an assessment of environmental safety management activities are characterized by the quality of the environment are carried out.

waste production and consumption, land, green spaces

Ткаченко Тетяна Миколаївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри прикладної екології та хімії, заступник директора Інституту міського господарства та охорони навколишнього середовища Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: рекультивация породних відвалів, дахове озеленення.

Хазіпова Віра Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: утилізація гумових шин.

Савенкова Світлана Володимирівна – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: рекультивация породних відвалів.

Ткаченко Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, заместитель директора Института городского хозяйства и охраны окружающей среды. Научные интересы: рекультивация породных отвалов, крышное озеленение.

Хазипова Вера Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: утилизация резиновых шин.

Савенкова Светлана Владимировна – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: рекультивация породных отвалов.

Tkachenko Tatiana – PhD, Associate Professor, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, deputy director Public Utilities and Environment Protection Institute. Scientific interests: reclamation of slagheap, greening roofs.

Khazipova Vera – PhD (Eng.), Associate Professor, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling rubber tires.

Savenkova Svetlana – a student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: rekultivation of pedigree dumps.

УДК 628.334

В. Н. ЧЕРНЫШЕВ, В. И. ЗЯТИНА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ ИЛОУДЕЛИТЕЛЯ В ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОСАДКА

Рассмотрен и исследован процесс разделения иловой смеси, после глубокой минерализации осадка. Определены параметры, влияющие на процесс илоотделения во взвешенном слое, и установлена зависимость гидравлической нагрузки на водное зеркало илоуделителя от безразмерного критерия IX_0 при различных исходных концентрациях активного ила.

минерализация, активный ил, илоуделитель, взвешенный слой, нагрузка

Илоуделители со взвешенным слоем осадка в технологии биологической очистки применяются как самостоятельные сооружения достаточно редко. Ими оборудованы, например, сооружения биологической очистки аэротенки – осветлители и окситенки. Обычно концентрация активного ила в иловой смеси из аэротенков, подаваемой на илоразделение, не превышает 4–6 г/л и для этих условий нагрузка на водное зеркало илоуделителя находится в пределах 0,5–3,8 м³/м²час [1, 2]. Но при использовании процесса илоотделения в технологии глубокой минерализации концентрация ила в иловой смеси, поступающей в илоуделитель, выше и составляет 6–11 г/л [4], и это требует проведения дополнительных экспериментальных исследований по уточнению гидравлических нагрузок на илоуделитель.

Экспериментами, проводимыми при илоразделении иловой смеси очистных сооружений Волжского автомобильного завода [2], установлено, что гидравлическая нагрузка зависит от безразмерного критерия IX_0 (рис. 1), который определяется, как

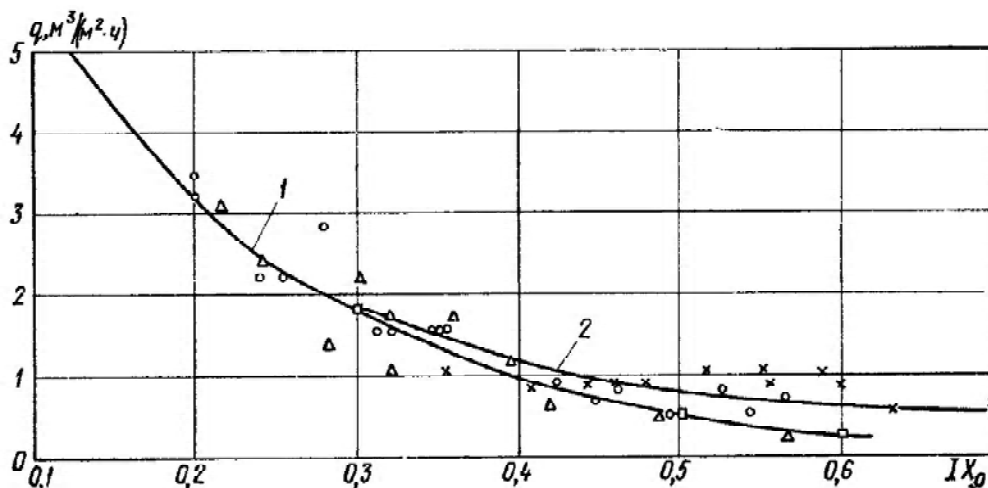


Рисунок 1 – Влияние безразмерного параметра IX_0 на гидравлическую нагрузку илоуделителя со взвешенным слоем осадка: 1 – данные лабораторных исследований; 2 – данные исследований на полупромышленном окситенке.

$$IX_o = I \cdot X / 1\,000, \quad (1)$$

где I – иловый индекс $\text{см}^3/\text{г}$;
 X – концентрация ила по сухому веществу в $\text{г}/\text{дм}^3$.

Следует заметить, что аналогичная зависимость, но только в табличной форме приведена в СНиП 2.04.03-85 [3]. Данные, приведенные в этой таблице, предназначены для расчета илоотделителей, работающих после сооружений биологической очистки сточных вод.

Учитывая более высокую концентрацию ила при глубокой минерализации и повышенный иловый индекс на некоторых очистных сооружениях, правильно назначить гидравлическую нагрузку на водное зеркало илоотделителя в этом случае не представляется возможным.

Кроме того, есть еще и другое обстоятельство, которое влияет на конструктивные особенности илоотделителя и также требует дополнительного изучения. Оно связано с накоплением нитратов в иловой воде при глубокой минерализации и предполагает протекание во взвешенном слое процессов денитрификации, что может вызвать разрушение взвешенного слоя за счет выделения пузырьков газообразного азота [4].

Таким образом, в задачи экспериментальных исследований входило определение гидравлических нагрузок на водное зеркало илоотделителя со взвешенным слоем при условии его работы в технологии глубокой минерализации осадка, а также оценка возможности разрушения взвешенного слоя за счет выделения пузырьков азота при денитрификации и испытание технологического приема, включающего это явление.

Для проведения экспериментов была изготовлена пилотная установка осветлителя со взвешенным слоем, схема которой приведена на рисунке 2.

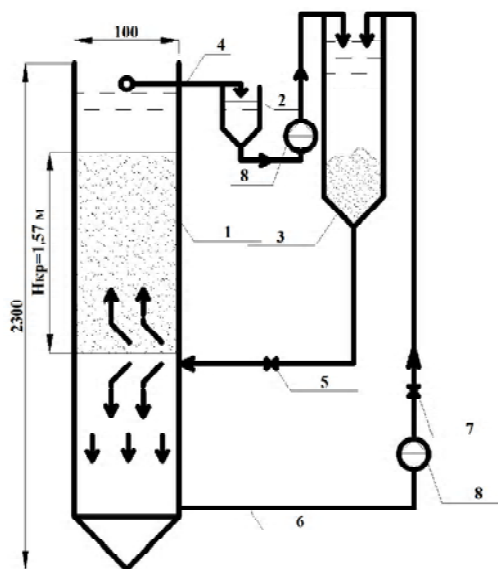


Рисунок 2 – Пилотная установка осветлителя со взвешенным слоем осадка: 1 – осветлитель со взвешенным слоем осадка; 2 – емкость иловой воды; 3 – сборная емкость иловой воды и циркуляционного ила; 4 – отвод иловой воды; 5 – кран регулировки подачи осадка; 6 – линия рециркуляции осадка в системе; 7 – кран регулировки подачи осадка; 8 – насосы для перекачки осадка.

В ходе эксперимента изучалось влияние расхода иловой смеси на высоту взвешенного слоя и кинетику его увеличения до момента устойчивого состояния слоя, а также определялась допустимая нагрузка на водное зеркало илоотделителя при заданных концентрациях активного ила по сухому веществу с известным иловым индексом.

Для экспериментов использовался активный ил аэротенков Макеевских и Донецких очистных сооружений, отобранный из действующих минерализаторов. Активный ил Макеевских очистных сооружений имел иловый индекс на уровне $60\text{--}70 \text{ см}^3/\text{г}$, Донецких очистных сооружений на уровне $90\text{--}120 \text{ см}^3/\text{г}$. В ходе экспериментов расход иловой воды и уплотненного ила измерялись объемным способом.

Экспериментами установлено, что высота взвешенного слоя зависит от концентрации ила по сухому веществу и гидравлической нагрузки на водное зеркало илоотделителя. Допустимая величина гидравлической нагрузки определялась в экспериментах при одинаковой высоте взвешенного слоя при установившемся режиме осветления. Высота взвешенного слоя составляла 1,57 м, а высота защитного слоя 0,50 м.

Обработка результатов исследований показала, что гидравлическая нагрузка на водное зеркало илоотделителя возрастает с уменьшением величины безразмерного критерия IX_0 . Зависимость гидравлической нагрузки от критерия IX_0 может быть описана экспоненциальным уравнением, но на разных участках с разными величинами коэффициентов (рис. 3). Так, при IX_0 меньше 0,39 уравнение имеет вид $y = 9,5 \cdot e^{-6,17x}$, с большими значениями IX_0 зависимость описывается уравнением $y = 2,15 \cdot e^{-2,34x}$.

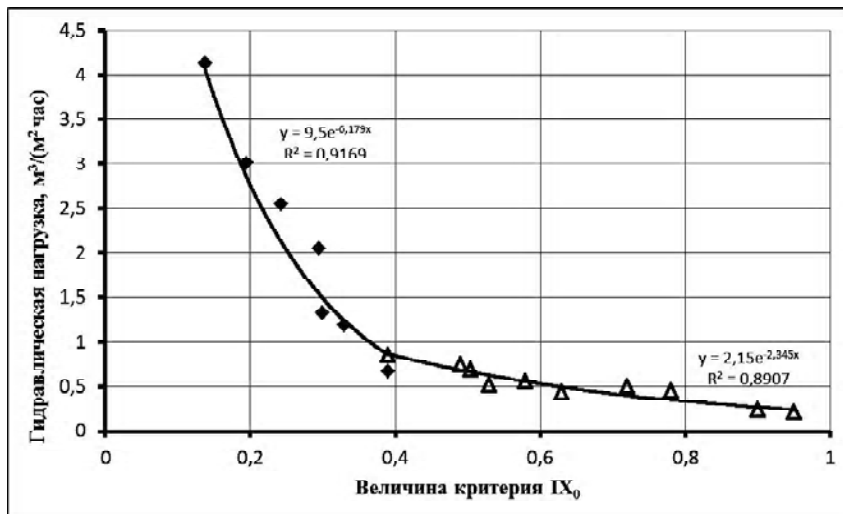


Рисунок 3 – Влияние безразмерного параметра IX_0 на гидравлическую нагрузку илоотделителя.

Такое различие, по-видимому, связано с изменением характера взаимодействия частиц ила во взвешенном слое при различных режимах работы илоотделителя. Таким образом, полученные зависимости дают возможность определить гидравлическую нагрузку на илоотделитель со взвешенным слоем осадка, если известна концентрация избыточного активного ила и его иловый индекс в поступающей в илоотделитель иловой смеси из аэробного минерализатора и тем самым обеспечивается возможность технологического расчета сооружений по глубокой минерализации осадка.

Работа илоотделителя была проверена в производственных условиях. Подтвержден факт разрушения взвешенного слоя производственного илоотделителя за счет выделения пузырьков азота при денитрификации. В этом случае через некоторое время работы илоотделителя наблюдалось расслоение взвешенного слоя и вынос ила с иловой водой. При проведении исследований на пилотной установке разрушения взвешенного слоя не наблюдалось, что связано с относительной кратковременностью эксперимента. Для борьбы с этим явлением в производственном илоотделителе был установлен пульсатор уровня, который позволил предотвратить концентрирование во взвешенном слое пузырьков азота, а следовательно, разрушение и самого слоя при работе илоотделителя.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что для расчета илоотделителя со взвешенным слоем осадка, применительно к технологии глубокой минерализации осадка отсутствуют данные о гидравлической нагрузке на это сооружение, что вызвало необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований.
2. Экспериментальные исследования по илоотделению во взвешенном слое осадка позволили установить необходимые параметры илоотделения при повышенных значениях концентрации взвешенных веществ и илового индекса, а также математические зависимости для определения гидравлической нагрузки на илоотделители, работающие в этих условиях. Эти зависимости могут быть описаны экспоненциальными уравнениями, но на разных участках с разными величинами коэффициентов.

3. Установлено, что ввиду относительной кратковременности проведения эксперимента на пилотной установке разрушения взвешенного слоя в илоотделителе за счет процессов денитрификации не происходит. Однако при работе производственного илоотделителя это явление приводит к выносу с иловой водой части взвешенного слоя. Устранить разрушение взвешенного слоя позволяет пульсация уровня в илоотделителе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биологическая очистка производственных сточных вод: Процессы, аппараты и сооружения [Текст] / С. В. Яковлев, И. В. Скирдов, В. Н. Швецов и др.; Под ред. С. В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
2. Колпакова, В. П. Опыт применения осветлителей со взвешенным слоем осадка для очистки городских сточных вод [Текст] / В. П. Колпакова // Известия научно-технического общества «КАХАК». – 2010. – № 5(30). – С. 127–129.
3. СНиП 2.04.03-85. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст]. – Взамен СНиП II-32-74; введ. 01.01.1986. – М.: ЦТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
4. Чернышев, В. Н. Теоретическое и экспериментальное обоснование глубокой минерализации осадков сточных вод [Текст] / В. Н. Чернышев, В. Ф. Кижаяев // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Випуск 2010-3(83): Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. – С. 236–240.
5. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse [Текст] / Franklin L. Burton, George Tchobanoglous, H. David Stensel, Inc. Staff Metcalf and Eddy. – 4 edition. – New York: McGraw-Hill Higher Education, 2002. – 1819 p.

Получено 18.09.2013

В. М. ЧЕРНИШЕВ, В. І. ЗЯТИНА

ТЕХНОЛОГІЯ РОБОТИ МУЛОВІДІЛЮВАЧА У ТЕХНОЛОГІЇ ГЛИБОКОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ОСАДУ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто основні технологічні параметри муловідділення у зваженому шарі мінералізованого активного мулу, визначені експериментальні характеристики процесу муловідділення, отримана теоретична залежність.

мінералізація, активний мул, муловідділення

VALENTIN SCHERNISCHEV, VITALY ZYATINA

TECHNOLOGY OF WORK OF SLUDGE REMOVAL IN TECHNOLOGY OF DEEP MINERALIZATION OF SEDIMENT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The process of division of silt mixture, after deep mineralization of sediment has been considered and researched. Parameters, influencing on the process of desilting in the self-weighted layer have been determined and dependence of the hydraulic loading has been set on the water mirror of desilting from the dimensionless criterion of Ixo at the different initial concentrations of active silt.

mineralization, active silt, desilting, self-weighted layer, loading

Чернышев Валентин Миколайович – кандидат технических наук, доцент кафедры водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інтенсифікація існуючих методів і створення нових технологій очищення стічних вод та обробки осадків.

Зятин Віталій Ілліч – аспірант, асистент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка нових та удосконалення технологій оборотного водопостачання автотранспортних підприємств. Проробка основних процесів біологічних процесів для даного типу стічних вод.

Чернышев Валентин Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: интенсификация существующих методов и создание новых технологий очистки сточных вод и обработки осадков.

Зятин Виталий Ильич – аспирант, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка новых и усовершенствование технологий оборотного водоснабжения автотранспортных предприятий. Проработка основных процессов биологических процессов для данного типа сточных вод.

Chernyshev Valentin – PhD (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the intensification of existing methods and the development of new technologies for treatment of wastewater and sludge treatment.

Zyatina Vitaly – a post-graduate student, assistant, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of new technologies and improvement of recycling water supply of automobile operating companies. Study of the basic processes of biological processes, for this type of wastewater.

УДК 536.7:621.1

О. В. ЧЕБОТАРЕВА, В. А. СЕРБИН, Н. В. КОЛОСОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СБРАЖИВАЕМОЙ МАССЫ ПРИ ЗАГРУЗКЕ В МЕТАНТЕНК СВЕЖЕЙ ПОРЦИИ ОТХОДОВ

Разработана методика определения температуры сбраживаемой массы при вводе в метантенк свежей порции органических отходов. Предложен способ кратковременного повышения температуры до рабочих параметров.

перемешивание, энтальпия сбраживаемой массы, время догрева

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Интенсивное внедрение технологии анаэробного сбраживания органической массы с целью получения биогаза как заменителя органического топлива – природного газа – связано с недостатком в Украине собственных запасов последнего. Переработка органической массы осуществляется в специальных реакторах – метантенках (МТ). Для стабильного процесса выделения биогаза необходимо поддержание в МТ постоянного температурного режима, обеспечивающего оптимальные условия жизнедеятельности метаногенных бактерий.

АНАЛИЗ ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используемые в настоящее время технологии сбраживания органической массы в МТ осуществляются преимущественно в мезофильном режиме при температуре сбраживаемой массы (СМ) 32–45° [1, 2].

Работающие в непрерывном режиме сбраживания установки требуют периодического удаления части сброженной массы (СбМ) и ввода на ее место такой же по массе свежей порции (СвП) органических отходов. Такие операции рекомендуется проводить от 1–2 [3] до 4–6 [2] и даже 8–12 [4] раз в сутки. Температура вводимой СвП $t_{вв}$ всегда меньше оптимальной температуры сбраживания $t_{сб}$. Это вызывает снижение общей температуры СМ в МТ.

Известно, что снижение температуры СМ в МТ оказывает угнетающее действие на деятельность метаногенных бактерий [5]. Поэтому после ввода СвП необходимо выполнить организационно-технические мероприятия, обеспечивающие повышение температуры СМ до рабочих значений.

ЦЕЛЬ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы является разработка методики оценки влияния вводимой СвП на температуру СМ в МТ и мероприятий по ее повышению до рабочих значений за заданный отрезок времени.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для действующих установок анаэробного сбраживания органической массы (отходы животноводческих ферм, трава, стебли кукурузы и др.) предусматривается плановая длительность сбраживания $\tau_{сб}$ (сутки), а также частота удаления СбМ и одновременного ввода СвП « n » в течение суток.

С учетом этих показателей за одну операцию смены сырья из МТ одновременно удаляется и вводится масса органического вещества, равная

$$m_{уд} = m_{вв} = \frac{M}{n \cdot \tau_{сб}}, \quad (1)$$

© О. В. Чеботарева, В. А. Сербин, Н. В. Колосова, 2013

где $m_{уд} = m_{вв}$ – количество СМ, удаляемое из МТ, и СвП, вводимое в него, кг;
 M – количество СМ в МТ при нормальном режиме сбраживания, кг.

Начальная энтальпия СМ в МТ составляет

$$I_H = M \cdot C|_{t_{сб}} \cdot t_{сб}, \quad (2)$$

где $t_{сб}$ – температура сбраживания, °С;
 $C|_{t_{сб}}$ – массовая теплоемкость СМ при температуре сбраживания, кДж/кг·град.

Энтальпия удаляемой части СМ

$$I_{уд} = m_{уд} \cdot C|_{t_{сб}} \cdot t_{сб}. \quad (3)$$

Энтальпия вводимой свежей порции, имеющей температуру $t_{вв} < t_{сб}$, составит

$$I_{вв} = m_{вв} \cdot C|_{t_{вв}} \cdot t_{вв}, \quad (4)$$

где $t_{вв}$ – температура вводимой порции, °С;
 $C|_{t_{вв}}$ – массовая теплоемкость сырья при $t_{вв}$, кДж/кг·град.

Поскольку $t_{вв}$ всегда меньше рабочей температуры сбраживания $t_{сб}$, общая температура СМ в МТ понизится и составит t_x .

Энтальпия смеси I_x может быть вычислена по уравнению

$$I_x = M \cdot C|_{t_x} \cdot t_x = I_H - I_{уд} + I_{вв}, \quad (5)$$

где $C|_{t_x}$ – массовая теплоемкость СМ при температуре t_x , кДж/кг·град.

Температуру t_x и соответствующее значение $C|_{t_x}$ можно определить методом последовательных приближений, задавшись для начала условием, что $C|_{t_x} = C|_{t_{сб}}$. В этом случае из уравнений (2–5) вытекает

$$t_x = \frac{C|_{t_{сб}}}{C|_{t_{сб}}} \cdot t_{сб} \left(1 - \frac{1}{n \cdot \tau_{сб}} \right) + \frac{1}{n \cdot \tau_{сб}} \cdot \frac{C|_{t_{вв}}}{C|_{t_{сб}}} \cdot t_{вв}. \quad (6)$$

Определенная по (6) величина t_x дает возможность уточнить значение $C|_{t_x}$ и повторным расчетом получить более точное значение температуры СМ в МТ. Цикл необходимо продолжать до достижения заданного различия Δt_x двух последовательных значений t_x , т. е.

$$t_x|_{n+1} - t_x|_n \leq \Delta t_x. \quad (7)$$

Для компенсации охлаждения и обеспечения оптимального температурного режима к СМ нужно подвести дополнительную теплоту в количестве

$$Q = I_H - I_x, \quad (8)$$

для чего кратковременно увеличить тепловой поток от наружной поверхности змеевика к СМ, что соответствует увеличению коэффициента теплопередачи «К» от греющего теплоносителя (воды, движущейся в змеевике) через стенку к СМ.

Анализ теплообмена внутри МТ, выполненный ранее [6], показал, что основное влияние на величину «К» оказывает коэффициент теплоотдачи α_2 от наружной стенки змеевика к СМ, т. к. интенсивность теплоотдачи от греющего теплоносителя к внутренней стенки змеевика α_1 на порядок выше.

Поэтому целесообразно увеличивать значение α_2 путем перемешивания СМ с помощью мешалки. Без перемешивания СМ значение $\alpha_2 = 626,5$ Вт/(м²·град), [7] с перемешиванием $\alpha_{2пер} = 1\,577,4$ Вт/(м²·град), т. е. увеличивается более чем в 2 раза.

Следовательно, количество дополнительной теплоты, передаваемой к СМ в единицу времени, составит

$$\Delta Q_\tau = (\alpha_{2пер} - \alpha_2) \cdot (t_{пов} - t_x) \cdot F_{зм}, \quad (9)$$

где $F_{зм}$ – наружная поверхность змеевика, м²;
 $t_{пов}$ – средняя температура поверхности змеевика, °С;

численно равная

$$t_{пов} = 0,5 \cdot (t'_{гт} - t''_{гт}), \quad (10)$$

где $t'_{\text{ГТ}}$ – температура греющего теплоносителя на входе в змеевик, °С;
 $t''_{\text{ГТ}}$ – температура греющего теплоносителя на выходе из змеевика, °С.

По рекомендации [5] эти температуры должны составлять $t'_{\text{ГТ}} = 60$ °С, $t''_{\text{ГТ}} = 40$ °С.
 Время догрева СМ в МТ от t_x до $t_{\text{сб}}$ составит

$$\tau_{\text{дог}} = \frac{Q}{\Delta Q_{\tau}}. \quad (11)$$

Принимая в качестве исходных данных для расчетов методику и результаты, полученные в работе [8], относящиеся к теплофизическим свойствам СМ в зависимости от температуры, а также технологические характеристики сбраживания (масса $M = 49,8$ т, плановая длительность сбраживания $\tau_{\text{сб}} = 15$ суток, однократная суточная смена СМ в МТ ($n = 1$), температуры сбраживания $t_{\text{сб}} = 40$ °С и СвП $t_{\text{вв}} = 10$ °С), установлено, что уменьшение температуры в МТ составит 2 °С, а время перемешивания для доведения температуры СМ от t_x до $t_{\text{сб}}$ равно $\tau_{\text{дог}} = 1,7$ часа.

Анализ полученных зависимостей показывает, что увеличение числа смены состава в МТ в сутки ($n > 1$), плановой длительности сбраживания $\tau_{\text{сб}}$ и интенсивности перемешивания будут способствовать минимальному уменьшению температуры t_x и снижению длительности перемешивания.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДАЛЬНЕЙШЕМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Разработанная методика определения температуры смеси после ввода в метантенк свежей порции органической массы может быть использована для оценки охлаждения СМ в МТ и разработки способов кратковременного повышения температуры СМ до рабочих значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Дубровский, В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов [Текст] / В. С. Дубровский, У. Э. Вистур. – Рига : Зинатне, 1988. – 204 с.
2. Шрамков, В. М. Купите биогазовую установку [Текст] / В. М. Шрамков // Энергия. Экономика, техника, экология. – 1987. – № 8. – С. 47–48. – ISSN 0233-3619.
3. Шомин, А. А. Биогаз на сельском подворье [Текст] / А. А. Шомин. – Балаклея : Инф. изд. компания «Балаклійщина», 2002. – 68 с.
4. Форстер, К. Ф. Экологическая биотехнология [Текст] / К. Ф. Форстер, Д. А. Дж. Вейза ; пер. с англ. под ред. А. И. Гинака. – Л. : Химия, 1990. – 384 с.
5. Бойлс, Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки [Текст] / Д. Бойлс ; пер. с англ. под ред. Е. А. Бирюковой. – М. : Агропромиздат, 1982. – 152 с.
6. Колосова, Н. В. Процессы теплообмена в метантенке при сбраживании биомассы. [Текст] / Н. В. Колосова, О. В. Чеботарева, В. А. Сербин // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки, молоді і спорту України, ДонНАБА. – Макіївка, 2011. – Вип. 2011-5(91) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 31–37. – ISSN 1814-3296.
7. Сербин, В. А. Особенности теплообмена в метантенке при сбраживании перемешиваемой биомассы [Текст] / В. А. Сербин, О. В. Чеботарева, Н. В. Колосова // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки, молоді і спорту України, ДонНАБА. – Макіївка, 2012. – Вип. 2012-2(94) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 42–48. – ISSN 1814-3296.
8. Розділ 2. Розробка методики і програми розрахунків гідравлічного і теплового режимів зброжування біомаси у метантенку [Текст] // Удосконалення систем теплогазопостачання, опалення, вентиляції і кондиціонування повітря з використанням сучасних технологій : звіт про НДР К-3-03-06 / Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. – Макіївка : ДонНАБА, 2010. – С. 16–43. – Бібліогр.: 27 назв.

Получено 26.09.2013

О. В. ЧЕБОТАРЬОВА, В. А. СЕРБИН, Н. В. КОЛОСОВА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ЗБРОДЖУВАНОЇ МАСИ ПРИ ЗАВАНТАЖЕННІ В МЕТАНТЕНК СВИЖОЇ ПОРЦІЇ ВІДХОДІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розроблено методику визначення температури зброджуваної маси при введенні в метантенк свіжої порції органічних відходів. Запропоновано спосіб короточасного підвищення температури до робочих параметрів.

перемішування, ентальпія зброджуваної маси, час догріву

OLGA CHEBOTARYOVA, VLADIMIR SERBIN, NELLY KOLOSOVA
TEMPERATURE RANGE FERMENTED MASS LOADING IN A FRESH PORTION
OF WASTE DIGESTER

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The method for determining the temperature of the fermentation mass during commissioning metantek fresh portion of organic waste has been found out. The method of short-term rise in temperature to the operating parameters has been suggested.

mixing, enthalpy of the fermented mass, while reheating

Чеботарьова Ольга Володимирівна – магістр, завідувач лабораторії кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження.

Сербін Володимир Артемович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження.

Колосова Неллі Вадимівна – магістр Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження.

Чеботарева Ольга Владимировна – магистр, заведующая лабораторией кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

Сербин Владимир Артемович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

Колосова Нелли Вадимовна – магистр Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

Chebotaryova Olga – masters degree, head of laboratory, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: saving of energy resources.

Serbin Vladimir – PhD (Eng.), Associate Professor, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: saving of energy resources.

Kolosova Nelly – masters degree, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: saving of energy resources.

УДК 628:332

Э. И. САЛИЕВ

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

ХАРАКТЕРИСТИКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

В статье рассмотрены факторы конструктивного, производственно-технологического и эксплуатационного характера, которые непосредственно или косвенно влияют на формирование свойств ремонтпригодности и количественные значения характеристик, используемых для задания и оценки этого свойства.

ремонтпригодность, конструктивные факторы, производственно-технологические факторы, эксплуатационные факторы

Утечка воды из систем водоснабжения и водоотведения является следствием тех или иных повреждений труб, нарушений и дефектов в работе конструктивных элементов, оборудования, агрегатов и сетевой арматуры. Повреждения приносят большие убытки, которые связаны с простоем трубопроводов, потерями воды, затоплениями, перебоями в водоснабжении, затратами на производство ремонтных работ.

Обеспечение требований бесперебойного водоснабжения налагает определенные ограничения на производство ремонтных работ и нередко их усложняет. Своевременное обнаружение, локализация и ликвидация возникающих аварий, систематическая регистрация, изучение причин нарушений в работе, аварий трубопроводов и сооружений на них являются одним из основных требований правил технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. Хорошо организованное изучение и анализ причин аварий позволяет предвидеть возможность их возникновения, своевременно принимать меры для их предотвращения и тем самым существенно повысить общую надежность и бесперебойность водоснабжения.

В данной статье предлагается рассмотреть одну из составляющей надежности – ремонтпригодность конструктивных элементов, оборудования и агрегатов систем водоснабжения и водоотведения с точки зрения факторов, влияющих на значение характеристик ремонтпригодности.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

От ремонтпригодности объектов в значительной мере зависит вероятность отказов и продолжительность устранения их последствий.

В результате обработки фактических материалов по выполнению ремонтно-восстановительных работ на данном объекте средняя продолжительность его восстановления составляет:

$$t_{cp}^p = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1)$$

где n – количество ремонтно-восстановительных работ, выполненных на объекте за период наблюдений;

t_i – продолжительность отдельных работ.

Вероятность продолжительности выполнения ремонтно-восстановительной работы:

$$F_{(t)}^p = 1 - e^{-\mu t}, \quad (2)$$

где μ – интенсивность восстановления;
 t – продолжительность ремонтно-восстановительной работы.

Факторы ремонтпригодности могут рассматриваться с позиций возможности управления ими и количественного их измерения. Значительную часть факторов можно оценить количественно, некоторые факторы носят качественный характер, но они не имеют количественной меры. Эти особенности факторов определяют методы их изучения и оценки.

Например, при изучении качественных факторов используются методы дисперсионного анализа, в то время как при изучении количественных факторов может быть использован как дисперсионный анализ, так и методы регрессионного анализа.

Ремонтпригодность системы водоснабжения и водоотведения является функцией факторов конструктивного, производственно-технологического и эксплуатационного характера. Состав каждой из этих групп факторов, их влияние на значение характеристик ремонтпригодности определяются назначением и конструктивными особенностями системы подачи воды и отвода стоков, условиями её эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ

При рассмотрении влияния факторов конструктивного характера на ремонтпригодность систем водоснабжения и водоотведения необходимо учитывать, что конструктивные решения, принимаемые на этапе создания системы, определяют не только свойства ее конструкции, но и характер их проявления при изготовлении и эксплуатации. Влияние конструктивных особенностей системы водоснабжения и водоотведения при ее изготовлении проявляется преимущественно в величине затрат на обеспечение требуемых свойств в определенных организационно-технических условиях производства.

Создание конструкции систем водоснабжения и водоотведения, которая бы вовсе не реагировала на изменение режимов работы, представляет большие трудности, а в ряде случаев экономически нецелесообразно. Однако можно требовать, чтобы влияние режимов работы системы водоснабжения и водоотведения на изменение ее характеристик не превышало определенных границ, исходя из установленных технико-экономических показателей.

Конструктивные решения, принимаемые на этапе проектирования систем водоснабжения и водоотведения, определяют характер и объем работ, которые должны выполняться при различных видах технического обслуживания и ремонта при принятой периодичности или периодичности технических обслуживаний, ремонтов для принятого характера и объема работ, осуществляемых с целью поддержания и восстановления работоспособности и ресурса различных конструктивных элементов систем водоснабжения и водоотведения.

Ввиду проведения технического обслуживания и ремонтных работ конструктивные факторы влияют на продолжительность неработоспособного состояния систем водоснабжения и водоотведения, а также на величину связанных с этим затрат труда, материалов и денежных средств.

Конструктивные факторы могут быть разделены на следующие группы:

- 1) *в зависимости от возможности их количественной оценки*: факторы, которые могут быть измерены количественно, и факторы, не поддающиеся количественному измерению – качественные факторы;
- 2) *в зависимости от результатов влияния на характеристики ремонтпригодности*: факторы, результатом действия которых является преимущественно изменение затрат времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонт.

Факторы, непосредственно влияющие на значения показателей ремонтпригодности:

- рациональная расчлененность конструкции на обособленно изготавливаемые и обслуживаемые конструктивные элементы (блоки, механизмы, сборочные единицы и т. п.);
- доступность конструктивных элементов для обслуживания и ремонта, особенности расположения деталей и сопряжений в сборочных единицах, являющихся объектами систематического контроля, интенсивного обслуживания и ремонта;
- применение рациональных методов контроля технического состояния составных частей систем водоснабжения и водоотведения и рациональное размещение и оформление контрольных точек;
- рациональное конструктивное оформление, мест сопряжений конструктивных элементов системы водоснабжения и водоотведения (сетей, блоков, сборочных единиц и т. п.);
- наличие в конструкции системы водоснабжения и водоотведения сменных и регулируемых конструктивных элементов в сборочных единицах, подверженных наиболее интенсивному воздействию рабочих нагрузок и внешней среды;

- наличие в конструкциях деталей и сборочных единиц технологических баз, используемых в восстановительных технологических процессах;
- рациональное конструктивное оформление элементов системы водоснабжения, позволяющее применять при ремонте высокопроизводительные и технически совершенные восстановительные технологические процессы.

Конструктивные факторы, преимущественно влияющие на сроки службы элементов, конструкций систем водоснабжения и водоотведения. Эта группа факторов оказывает определенное влияние на значения характеристик ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения. Такое влияние проявляется посредством изменения интенсивности проведения профилактических и восстановительных мероприятий, осуществляемых с целью поддержания и восстановления работоспособности конструктивных элементов. К конструктивным факторам этой группы относят:

- рациональный выбор материалов, из которых изготавливаются конструктивные элементы систем водоснабжения и водоотведения;
- рациональное распределение нагрузок, действующих на конструктивные элементы при эксплуатации машины;
- рациональная конфигурация деталей и сборочных единиц и их рабочих поверхностей, позволяющая применять при изготовлении и ремонте упрочняющие технологические процессы, значительно повышающие их сроки службы;
- рациональное конструктивное оформление элементов системы водоснабжения и водоотведения, обеспечивающее их защиту от неблагоприятного воздействия внешней среды (здесь имеются в виду такие факторы, как влага и туман, соли, содержащиеся в атмосфере, пыль и песок, биологические факторы и т. п.).

Как следует из рассмотрения факторов конструктивного характера, влияющих на ремонтпригодность, большинство из них являются управляемыми. Следовательно, при разработке конструкций систем водоснабжения и водоотведения их можно изменять в желательном направлении и тем самым обеспечивать требуемый уровень характеристик ремонтпригодности систем. Необходимо иметь в виду, что рациональные конструктивные решения, учитывающие влияние многих факторов, являются лишь потенциальными условиями обеспечения требуемого уровня характеристик ремонтпригодности. Проявляются же эти свойства при строительстве систем водоснабжения и водоотведения, изготовлении машин и агрегатов, а также в процессе их эксплуатации.

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Производственные факторы, как и конструктивные факторы, оказывают преимущественное влияние на длительность и трудоемкость осуществления профилактических и восстановительных работ при эксплуатации сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения, на сроки их службы.

Производственно-технологические факторы ремонтпригодности можно рассматривать в виде двух групп: факторы организационно-технического характера и факторы технологического характера.

К первой группе обычно относят факторы, характеризующие уровень организации труда и производства и оказывающие большое влияние на обеспечение требований ремонтпригодности. Таковыми факторами, в частности, являются:

- а) состояние организации труда и внедрения современных технологических процессов;
- б) наличие на предприятии современного технологического оборудования и его техническое состояние;
- в) совершенство применяемых методов контроля подготовки продукции и квалификация специалистов ОТК предприятия.

Технологические факторы являются основным инструментом обеспечения требуемых свойств объектов производства, в том числе и свойств ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения при изготовлении, а в процессе эксплуатации систем при обслуживании и ремонте.

Наиболее существенными факторами технологического характера являются следующие методы:

- Методы достижения точности при изготовлении деталей и сборочных единиц конструкций систем водоснабжения и водоотведения (рассматриваются четыре метода достижения и поддержания точности конструктивных элементов систем):

- 1) метод полной взаимозаменяемости;
- 2) метод неполной взаимозаменяемости, когда часть изготовленных конструктивных элементов не взаимозаменяется;

3) метод конструктивной компенсации, когда требуемая точность сопряжения достигается введением в сопряжении компенсаторов: неподвижных (шайб, прокладок), подвижных (винтовых пар, клиньев, эксцентриков);

4) метод технологической компенсации, когда для достижения требуемой точности одна или несколько деталей, входящих в него предусматривается соответствующий припуск.

- Применение технологических процессов, обеспечивающих требуемые свойства поверхностного слоя деталей. Такими технологическими процессами, являются:

- 1) термическая и химико-термическая обработка (закалка, науглероживание, азотирование и т. п.);

- 2) наклеп (вибрационный, обкаткой, дробеструйный);

- 3) нанесение на деталь слоев металла с улучшенными свойствами.

- Применение методов обработки поверхностей деталей и сборочных единиц, обеспечивающих их высокую износостойкость, коррозионную стойкость. В качестве технологических процессов, обеспечивающих такие свойства поверхностей, в частности, находят применение:

- 1) чистовое шлифование;

- 2) хонингование;

- 3) суперфиниш;

- 4) электрополирование;

- 5) полирование абразивами;

- 6) нанесение гальванических покрытий.

- Применение при сварке металлоконструкций систем водоснабжения и водоотведения технологических процессов, режимов, последовательности наложения швов и технологической оснастки, которые обеспечивают минимальные деформации и остаточные напряжения в элементах конструкции.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ

Эксплуатационные факторы определяют условия, в которых проявляются свойства конструкций систем водоснабжения и водоотведения, заложенные при ее проектировании и обеспеченные при изготовлении. Для конкретной конструкции и условий ее использования эксплуатационные факторы определяют количественные значения показателей ремонтпригодности. Различие условий эксплуатации, обслуживания и ремонта сетей, оборудования и сооружений, т. е. различие в составе и характере действующих эксплуатационных факторов, является причиной различия значений показателей ремонтпригодности для одной и той же системы водоснабжения и водоотведения.

Эксплуатационные факторы можно разделить на две группы: **организационного** и **технического** характера.

К факторам **организационного характера** относятся следующие факторы:

- принятая система технического обслуживания и ремонта сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;

- организационные формы технического обслуживания и ремонта сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;

- виды, периодичность и содержание профилактических мероприятий при обслуживании и эксплуатации сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;

- механизм обеспечения материалами и запасными частями находящихся в эксплуатации сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения;

- полнота и качество эксплуатационно-технической и ремонтной документации.

К факторам **технического характера** относятся:

- виды и содержание технологических процессов технического обслуживания и ремонта;

- техническая оснащенность работ при техническом обслуживании и ремонте систем водоснабжения и водоотведения.

Виды и количество технологического оборудования, используемого при техническом обслуживании и ремонте систем водоснабжения и водоотведения каждого типа, устанавливаются в соответствии с требованиями в отношении времени и качества технического обслуживания, ремонта и экономической эффективности его применения.

ВЫВОДЫ

Задача анализа ремонтпригодности состоит в том, чтобы найти резервы времени для сокращения продолжительности ремонтов. В этой связи следует отдельно учитывать активное время (период выполнения работы) и общую продолжительность отключения ремонтируемого участка.

Рассмотренные факторы являются основными методами, влияющими на ремонтпригодность систем водоснабжения и водоотведения, осуществляемые с целью поддержания и восстановления долговечности и работоспособности в процессе эксплуатации.

Применение методов дисперсионного и регрессионного анализа позволяет не только оценить существенность влияния различных факторов на свойства систем водоснабжения и водоотведения, но и в ряде случаев устанавливает аналитические зависимости между учитываемыми факторами и признаками, характеризующими те или иные свойства систем.

Следует анализировать фактические графики выполнения ремонтов: затрату времени на поиск места повреждения, отключение поврежденного участка, выполнение подготовительных работ, непосредственно на производство работы, наладку после ремонта и пуск в эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А. В. Применение нечеткой математики в задачах принятия решений [Текст] / А. В. Алексеев // Методы и системы принятия решений / Рижский политехнический институт. – Рига : РПИ, 1983. – С. 38–42.
2. Салиев, Э. И. Параметры надежности системы водоснабжения и канализации, ремонтпригодность как главное свойство надежности [Текст] / Э. И. Салиев // Науковий вісник будівництва / Харьковский нац. ун-т строит. і арх. – Харьков, 2012. – № 70. – С. 285–297.
3. Стан водопостачання та водовідведення в Україні [Текст] / М. М. Гіроль, О. А. Ткачук, Г. М. Семчук [та ін.] // Вісн. Одес. держ. акад. будівн. та арх. – Одеса, 2005. – Вып. 19. – С. 3–9.
4. Аленфельд, Г. Введение в интервальные вычисления [Текст] / Г. Аленфельд, Ю. Херцбергер. – М. : Мир, 1987. – 360 с.
5. Бердичевский, Б. Е. Оценка надежности аппаратуры автоматики [Текст] / Б. Е. Бердичевский. – М. : Машиностроение, 1966. – 604 с.
6. Евдокимов, А. Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. – М. : Стройиздат, 1990. – 368 с.
7. Гіроль, М. М. Ефективність систем водопостачання України як фактор національної безпеки держави [Текст] / М. М. Гіроль, М. М. Тіроль, Г. М. Семчук // Надзвичайна ситуація. – 2001. – № 5. – С. 10.
8. Салиев, Э. И. Оценка влияния показателей ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения на их технико-экономические показатели [Текст] / Э. И. Салиев, И. В. Николенко, Э. У. Гаффарова // Науковий вісник будівництва / Харьковский нац. ун-т строит. і арх. – Харьков, 2012. – № 69. – С. 296–302.
9. Евдокимов, А. Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов. – Харьков : Вища школа, 1976. – 153 с.
10. Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений азота на малогабаритных канализационных очистных сооружений [Текст] / С. М. Эпоян, И. Ю. Штонда, Ю. И. Штонда, А. Л. Зубко // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вып. 63. – С. 493–498.
11. Салиев, Э. И. Влияние ремонтпригодности на надежность систем водоснабжения [Текст] / Э. И. Салиев, И. В. Николенко, Э. У. Гаффарова // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2012. – № 37. – С. 43–49.
12. Современные водяные системы пожаротушения [Текст] / С. М. Эпоян, О. Г. Друшляк, О. Г. Исакиева [и др.] // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2011. – Вып. 63. – С. 95–98.

Получено 26.09.2013

Е. І. САЛІЄВ

ХАРАКТЕРИСТИКА ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Національна академія природоохоронного і курортного будівництва

У статті розглянуті фактори конструктивного, виробничо-технологічного та експлуатаційного характеру, які безпосередньо чи опосередковано впливають на формування властивостей ремонтпридатності і кількісні значення характеристик, що використовуються для надання та оцінки цієї властивості.

ремонтпридатність, конструктивні фактори, виробничо-технологічні фактори, експлуатаційні фактори

ENVER SALIEV

DESCRIPTION OF THE FACTORS DETERMINING REPARABILITY WATER AND WASTEWATER SYSTEMS

National Academy of Nature Protection and Resort Building

The article discussed the factors constructive production, technological and operational nature that directly or indirectly influence the formation and properties of the maintainability of the quantitative values of the characteristics used to define and assess this property.

maintainability, structural factors, production and technological factors, operational factors

Салієв Енвер Ібрагімович – кандидат державного управління, доцент кафедри водопостачання і санітарної техніки Національної академії природоохоронного і курортного будівництва. Наукові інтереси: менеджмент та економіка підприємств, нові матеріали та сучасні технології при реконструкції споруд водопостачання та водовідведення.

Салиев Энвер Ибрагимович – кандидат государственного управления, доцент кафедры водоснабжения и санитарной техники Национальной академии природоохранного и курортного строительства. Научные интересы: менеджмент и экономика предприятий, новые материалы и современные технологии при реконструкции сооружений водоснабжения и водоотведения.

Saliev Enver – PhD, Associate Professor, Water Supply and Sanitary Engineering Department, National Academy of Nature Protection and Resort Building. Scientific interests: management and enterprises economic, new materials and modern technologies during reconstruction and building of water supply and water removal.

УДК 669.1:662.613.5

Д. В. САВИЧ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОЧИСТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ЧАСОВОЯРСКОМ ОГНЕУПОРНОМ КОМБИНАТЕ

Анализируется целесообразность использования метода глубокой утилизации теплоты и очистки отходящих газов в технологическом процессе производства огнеупорных материалов Часовоярского огнеупорного комбината в контактном газоочистном теплообменном аппарате.

дымовые газы, вторичные энергетические ресурсы, глубокая утилизация, обеспыливание

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее время, на фоне удорожания энергетических ресурсов, все больше внимания уделяется повышению энергоэффективности предприятий, в том числе и за счет использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), которые безвозвратно теряются, загрязняя окружающую среду.

В настоящее время температуру уходящих дымовых газов за теплогенерирующим агрегатом принимают не ниже 120–130 °С по двум причинам: для исключения конденсации водяных паров на боровых, газоходах и дымовых трубах и для увеличения естественной тяги, снижающей напор дымососа. При этом температура уходящих дымовых газов непосредственно влияет на значение q_2 – потери тепла с уходящими газами, одной из основных составляющих теплового баланса теплогенерирующего агрегата.

На сегодняшний день достаточно остро стал вопрос о необходимости использования метода глубокой утилизации теплоты дымовых газов на предприятиях строительной индустрии Украины, где тепло уходящих газов технологического оборудования утилизируется неэффективно [1, 2].

Целью статьи является анализ процессов производства объектов промышленности строительных материалов, в частности на примере Часовоярского комбината огнеупоров, для определения выделяющихся вредностей (в виде пыли и теплоты отходящих горячих продуктов сгорания) с последующей их очисткой и глубокой утилизацией теплоты в контактном теплообменном аппарате с промежуточным теплоносителем.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Анализ существующих способов глубокой очистки дымовых газов показал, что наибольший эффект достигается за счет стадии конденсации очищаемых дымовых газов [3]. Этот процесс выгодно отличается тем, что обеспечивает настолько глубокую очистку отходящих газов от газообразных примесей, частиц пыли и аэрозолей, что их остаточное количество не превышает установленных нормативных значений. Целью существующих систем газоочистки является сокращение остаточного содержания в дымовых газах пыли и аэрозолей, с которыми в атмосферный воздух выбрасываются тяжелые металлы и токсичные органические компоненты загрязнений.

При исследовании вопроса утилизации теплоты рассмотрен конкретный пример – объект промышленности строительных материалов – Часовоярский огнеупорный комбинат.

Производство огнеупорных материалов является одним из основных объектов строительной промышленности, на долю которого приходятся существенные масштабы выбросов вредных веществ.

Основная огнеупорная продукция в Украине производится ассоциацией «Укрогнеупор», которая включает в себя ОАО «Запорожогнеупор», ОАО «Часовоярский огнеупорный комбинат», ОАО «Великоанадольский огнеупорный Завод», ОАО «Красногоровский огнеупорный комбинат»,

© Д. В. Савич, 2013

ОАО «Красноармейский динасовый завод», ОАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод», ОАО «Кондратьевский огнеупорный завод», ОАО «Kaldaris Украина». Эти заводы производят около 99 % всех огнеупорных изделий Украины.

С 1997 г. в атмосферу г. Часов-Яра ежегодно выбрасывается 912,5 тонн вредных веществ: окиси углерода – 49,6 %, взвешенных веществ – 40,7 %, диоксида азота – 7,6 %, что неизбежно влечет за собой нарушение экологической обстановки и негативно сказывается на физическом здоровье населения.

Несмотря на то, что за последние годы на предприятиях производства огнеупоров проведены значительные работы по газоочистке (установлены электрофилтры, группы циклонов, рукавные филтры и группы из них), суммарные выбросы пыли продолжают оставаться высокими.

Технология производства огнеупоров включает в себя ряд процессов с выделением определенных видов вредностей, в частности, добыча, доставка, дробление и измельчение, подготовка связующей глины сопровождаются интенсивным пылевыведением; сушка глины в прямоточных барабанах, приготовление шликера, сушка изделий в туннельном сушиле, обжиг изделий сопровождаются значительным выделением теплоты, которую целесообразно использовать для экономии первичного топлива [4, 5].

На основе результатов инструментально-лабораторного контроля установлены нормы ограниченно-допустимых выбросов стационарными источниками загрязнения атмосферы, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Выбросы стационарными источниками загрязнения атмосферы от технологического оборудования Часовоярского огнеупорного комбината

№ п/п	Наименование оборудования	Температура, °С	Скорость, м/с	Расход, м³/с	Наименование загрязняющего вещества	Максимальная концентрация	Мощность выброса, г/сек
1	Шаровая мельница	25	6,95	1,78	Вещества в виде суспензированных твердых частиц	42,7	0,076
2	Помол глины и шамота	13	25,2	2,99	Вещества в виде суспензированных твердых частиц	48,7	0,146
3	Сушильный барабан № 1	73	10,3	3,9	Вещества в виде суспензированных твердых частиц СО NO ₂	47 423,5 132	0,183 0,312 0,096
4	Сушильный барабан № 2	70	12,24	4,8	Вещества в виде суспензированных твердых частиц СО NO ₂	59,2 314,1 110,4	0,284 0,318 0,112
5	Вальцы крупного помола	25	20,27	9,16	Вещества в виде суспензированных твердых частиц	48,7	0,146
6	Линия прессов	25	20,27	9,16	Вещества в виде суспензированных твердых частиц	42,0	0,385
7	Вальцы мелкого помола	25	36,0	12,8	Вещества в виде суспензированных твердых частиц	47,5	0,608
8	Трубо-мельница	25	16,02	6,85	Вещества в виде суспензированных твердых частиц	25,0	0,171

Динамика выбросов загрязняющих веществ Часовоярского огнеупорного комбината по данным статической отчетности представлена в таблице 2.

По данным таблицы видно, что в 2010 году в сравнении с 2009 годом выбросы загрязняющих веществ увеличились на 35,297 тонны, или в 1,15 раза: по соединениям азота увеличение выбросов составило 7,190 тонны; по оксиду углерода – 14,955 тонны; по диоксиду серы уменьшение выбросов составило 2,674 тонны.

Таблица 2 – Динамика выбросов загрязняющих веществ

Ингредиент, тонн / год	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Всего, в том числе:	542,184	544,088	421,779	241,973	277,27	241,2
Суспензированные вещества	151,493	128,191	128,819	107,04	122,866	107,33
Соединения азота	62,787	65,227	47,850	16,808	23,998	21,27
Диоксид серы	14,261	13,840	11,139	9,963	7,289	10,881
Оксид углерода	311,426	334,352	232,389	108,162	123,117	102,497

Это связано с тем, что в 2010 году увеличился выпуск огнеупорной продукции.

Наиболее доступными и мощными источниками тепловых ВЭР огнеупорного комбината являются отходящие газы после прямоточных сушильных барабанов. По паспортам эксплуатации этого оборудования температура продуктов сгорания на выходе составляет 120–200 °С с наличием силикатсодержащей пыли. Дисперсный состав пыли представлен в таблице 3 [6].

Таблица 3 – Дисперсный состав, плотность и угол естественного откоса пыли сушильных барабанов (для глины)

	Дисперсный состав пыли, %, мкм				Плотность пыли, кг/м ³			Угол естественного откоса, град
	< 5	5–10	11–20	> 20	истинная	кажущаяся	насыпная	
Сушильный барабан	7–34	5–20	24–27	19–64	2 670	–	790	37

После сушильных барабанов горячие запыленные дымовые газы направляются по газоходу длиной 50 метров в отдельностоящее здание электрофильтров, где установлены 4 электрофилтра Ц-11,5 введенные в эксплуатацию с 1971 года с фактической степенью очистки 96,3 %. Электрофилтры рассчитаны на дымовые газы с температурой не более 150 °С, а так как максимальная температура продуктов сгорания 200 °С, целесообразно предварительно снижать температуру отходящих газов, утилизировать тепло и осуществлять очистку дымовых газов, тем самым снижая аэродинамическую нагрузку на электрофилтры.

Учитывая содержание в продуктах сгорания силикатсодержащей пыли, для глубокой утилизации теплоты дымовых газов от сушильных барабанов Часовоярского огнеупорного комбината рассматривается контактный пленочный газоочистной теплообменный аппарат [заявка на патент], где в качестве промежуточного теплоносителя служит раствор NaOH, который, стекая по наружной поверхности теплообменного пучка труб, контактирует с частицами пыли в газовом потоке и абсорбирует его.

Предложенная схема установки газоочистного теплообменного контактного аппарата за сушильными барабанами представлена на рисунке.

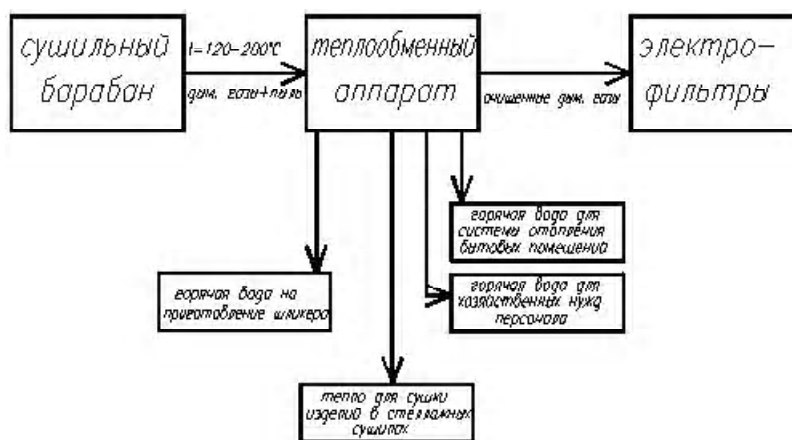


Рисунок – Схема установки теплообменного аппарата.

ВЫВОД

Использование газоочистного пленочного контактного теплообменного аппарата за сушильными барабанами позволяет очищать продукты сгорания, снижая аэродинамическую нагрузку на электрофильтры, уменьшая выбросы вредных веществ в окружающую среду, а также позволяет утилизировать скрытую теплоту парообразования методом глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания, повышая энергоэффективность предприятия за счет использования полученной теплоты в технологическом процессе Часовоярского огнеупорного комбината.

Вырабатываемое тепло из теплообменного аппарата целесообразно применить в производственном процессе в качестве ресурса нагрева воды для приготовления шликера, для сушки изделий в стеллажных сушилках, для снижения нагрузки на паровое отопление, а также на хозяйственные нужды рабочего персонала и обогрева подсобных помещений [7].

Положительный эффект огромен и значителен: очистка продуктов сгорания и экономия первичного топлива за счет даровой выбрасываемой теплоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лунд, А. Как внедрить проекты по энергоэффективности при помощи UKEEP? [Электронный ресурс] / Андерс Лунд // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы»: Проект UKEEP – новая инициатива ЕБРР для Украины. – 2008. – № 1. – 13 с. – Режим доступа к журн.: http://esco.co.ua/journal/2008_1/art14.pdf
2. Kiosov, A. D. Deep recovering and storing of the heat of flue gases from boilers [Текст] / A. D. Kiosov, G. D. Avruts-kii // Thermal Engineering (Teploenergetika). – 2011. – Volume 58, Issue 11. – P. 948–952.
3. Карпис, Е. Е. Утилизация производственных тепловых ресурсов на цели отопления, вентиляции и горячего водоснабжения [Текст] / Е. Е. Карпис. – М.: ВНИИИ, 1988. – 25 с.
4. Глебов, С. В. Технологические процессы производства шамотных, полукислых и каолиновых изделий [Текст] / С. В. Глебов, А. К. Карлит. – М.: Metallurgizdat, 1950. – 224 с.
5. Часовоярский огнеупорный комбинат. Сборник технологических инструкций [Текст] / В. А. Хрещенюк. – Артемовск: Артемовская гортипография, 1989. – 340 с.
6. Банит, Ф. Г. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов [Текст] / Ф. Г. Банит, А. Д. Мальгин. – М.: Стройиздат, 1979. – 351 с.
7. Бесчетный, В. В. Утилизация теплоты продуктов сгорания для нагрева воды и воздуха в системах отопления и вентиляции [Текст] / В. В. Бесчетный, Н. Ю. Горлова // Матер. научно-практич. конф. «Строительство-2004» / Под ред. В. В. Бесчетный. – Ростов на Дону: РГСУ, 2004. – С. 174–176.

Получено 28.09.2013

Д. В. САВИЧ

ОЧИЩЕННЯ І УТИЛІЗАЦІЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ НА ЧАСОВОЯРСЬКОМУ
ВОГНЕТРИВКОМУ КОМБІНАТІ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Аналізується доцільність використання методу глибокої утилізації теплоти і очищення газів, що відходять, у технологічному процесі виробництва вогнетривких матеріалів Часовоярського вогнетривкового комбінату в контактному газоочисному теплообмінному апараті.

димові гази, вторинні енергетичні ресурси, глибока утилізація, знепилювання

DARYA SAVICH

CLEANING AND HEATUTILIZATION OF FLUE-GAS REFRACTORY PLANT OF
CHASOVJAR

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The expediency and advisability of using the method of the deep heat recovery and purification of exhaust gases in the productions process of refractory materials of Chasovojarsky refractory plant in contact dedust the heat-exchange apparatus are analyzed.

flue gases, secondary energy resources, deep disposal, dedusting

Савіч Дар'я Володимирівна – аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадні технології.

Савич Дарья Владимировна – аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии.

Savich Darya – a post-graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving technology.

УДК 504.4.; 628.11; 628.17; 628.19

О. И. БАЛИНЧЕНКО, В. И. НЕЗДОЙМИНОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МАКЕЕВКИ

В данной статье проанализированы ежегодные объемы отбора воды крупным городом Макеевка из основного поверхностного источника – канала Северский Донец-Донбасс за период 2000–2012 годы. Найдены зависимости водопотребления и водоотведения населением г. Макеевка за тот же период времени. Для этих характеристик использованы литературные сведения за 2000–2007 гг., а также данные промышленных предприятий города – за 2008–2012 гг. Отмечено значительное уменьшение объемов водоотбора, водопотребления и водоотведения за период 2008–2011 гг. Уменьшение объемов отведения воды позволило сократить нагрузки сточных вод на городские очистные сооружения, что создало некоторый резерв возможностей для ремонтов этих сооружений. По этой же причине уменьшилось поступление со сточными водами загрязнений в р. Грузкая и р. Нижняя Крынка. С 2012 г. наметилась тенденция к увеличению потребления воды населением г. Макеевка.

водные ресурсы, водоотбор, водопотребление, водоотведение, процент отклонения от качества

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из приоритетных направлений Концепции экологической политики Макеевки, принятой в мае 2007 г и действующей в настоящее время, является рациональное водопользование и защита водных объектов от загрязнений.

Водные ресурсы города включают две малые реки (Грузкая и Нижняя Крынка), водохранилища, канал «Северский Донец – Донбасс» и несколько десятков природных водоемов. На территории города Макеевка располагается около 50 гидросооружений – противопаводковых и технических прудов, отстойников и шламонакопителей. Общая площадь водохранилищ и природных водоемов составляет 839,6 га, объем водных ресурсов – 32 527,2 тыс. куб. м. Основным поставщиком питьевой воды является КП «Компания "Вода Донбасса"» (примерно 80 %), а остальные 20 % обеспечивает Донецкий Горводоканал.

До недавнего времени в средствах массовой информации характеристики количества и качества водных ресурсов г. Макеевка детально не анализировались. Только в 2008 г. были обнародованы результаты за 2000–2007 годы основных показателей количества и качества водных ресурсов, с привязкой к экологическим оценкам других ресурсов г. Макеевка [1]. Сведения за 2008–2012 г., взятые из отчетов ведомственных лабораторий соответствующих организаций, проанализированы авторами этой статьи.

Целью данной работы является выявление влияния различных факторов, изменений в состоянии водных ресурсов города Макеевка за последние годы, прогнозы и рекомендации по улучшению положения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ (ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ)

1. Отбор воды из канала «Северский Донец-Донбасс» и водопотребление г. Макеевка

По данным годовых статистических отчетов было проанализировано использование водных ресурсов Макеевки с 2000 по 2011 год – в периоды относительного экономического подъема и спада. Данные представлены на рис. 1.

Отбор воды из природных водных источников с 2000 по 2011 гг. сократился на 20 %, а за 2008–2011 гг. вырос на 12 %. По объемам отобранной воды Макеевка находится на 4 месте среди 28 городов Донецкой области.

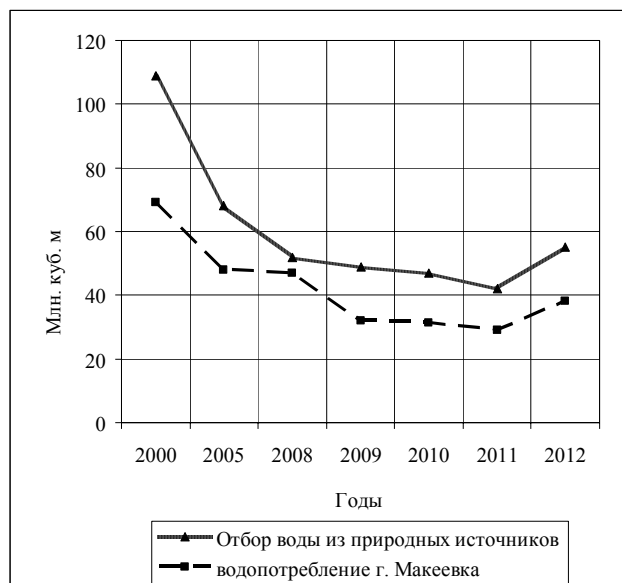


Рисунок 1 – Водозабор и водопотребление г. Макеевка из природных водных источников.

Годовые объемы использования воды для населения с 2000 по 2011 гг. уменьшились на 60 %, а за период с 2008 по 2011 гг. – на 35 %. За период 2000–2011 гг. использование воды на хозяйственно-питьевые цели уменьшилось с 48 до 17, а за период 2008–2011 гг. – с 22 до 17 млн куб. м. По данным на 2011 г. потребление воды в год одним жителем Макеевки (в среднем 41,40 куб. м) находится на 14 месте среди 28 городов Донецкой области (в 2007 г было на 10 м). С 2008 по 2011 гг. этот показатель снизился на 69 %. За период 2011–2012 гг. отбор воды и водопотребление города, миновав минимум, выросли примерно на 30 %.

Тенденция значительного отставания объемов отбора воды от объемов водопотребления говорит о возрастании потерь воды на магистральных водоводах, городских сетях и транспортирующих сооружениях (утечках в «дырявых» коммуникациях водоснабжения).

На рис. 2 представлены объемы оборотных и последовательно использованных вод промышленными предприятиями за период с 2000 по 2012 гг. Замечен максимум в 2008 г., в период подъема производства, и явное снижение – в годы спада.

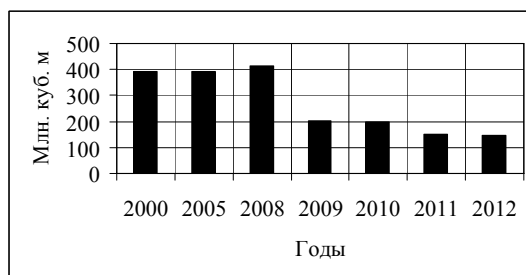


Рисунок 2 – Потребление оборотной и последовательно использованной воды (технологические нужды промпредприятий).

Для населения г. Макеевка снижение потребления воды в данных обстоятельствах – тенденция неблагоприятная, говорящая о необходимости жесткой экономии в целях уменьшения платы за использованную воду.

В 2012 г. значительно выросли объемы общего водоотбора и обеспечения хозяйственно-питьевых нужд населения, по сравнению с 2011 г. (рис. 1). Резко снизившись в 2008 г., с 2009 г. и по настоящее время, водопотребление на технологические нужды промпредприятий остается практически на одном уровне (рис. 2).

Качество питьевой воды в Макеевском водопроводе за период 2000–2012 гг. по всем контролируемым показателям не ухудшилось. Из табл. 1 видно, что основные показатели качества питьевой воды для централизованного водоснабжения находятся в пределах действующих норм [3–5].

Таблица 1 – Основные среднегодовые показатели качества питьевой воды Макеевского РПУ
КП «Компания "Вода Донбасса"» за 2001–2012 годы

Место отбора проб	Показатели																
	балл	рН	град	мг/куб. дм					мг-экв/куб. дм	мг/куб. дм			мг/куб. дм				бактериологический показатель
										остаточный хлор		алюминий					
привкус, запах воды при 20 °С	цветность	мутность	железо общее	хлориды	сульфаты	сухой остаток	жесткость общая	связанный	свободный							кол-во бактерий в 1 см ³ воды при 37 °С	
за 2011 год																	
Макеевское РПУ	1–2	7,9	6	0,6	0,05	76	2 243	7 722	7	1	0,53	0,05	0,03	0,001	0,01	1,15	3
за 2012 год																	
Макеевское РПУ	1–2	7,9	10	0,6	0,05	77	2 231	708	7	1	0,31	0,04	0,03	0,001	0,01	1,06	3

Данные об отклонениях от норм среднегодовых показателей качества приведены на рис. 3.

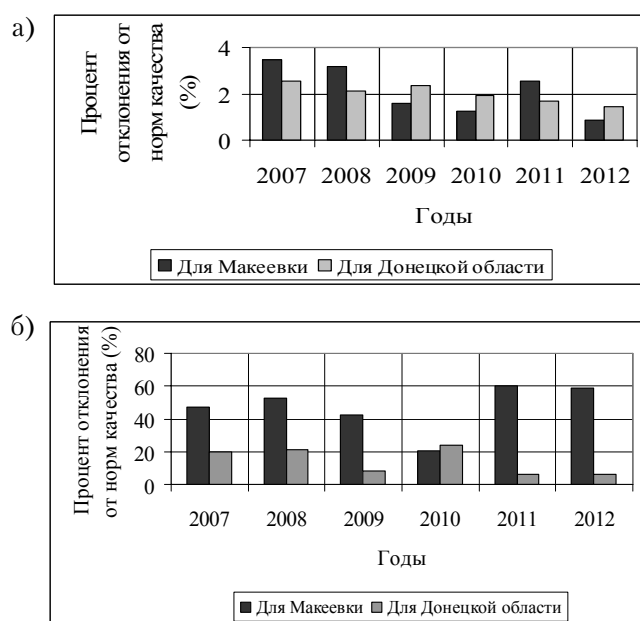


Рисунок 3 – Процент отклонения от норм качества воды: а) централизованного и б) децентрализованного водоснабжения.

Видно, что для централизованного водоснабжения г. Макеевка процент отклонений от норм качества для питьевой воды с 2007 г. постепенно снижается с 3,50 до 0,95 и в 2012 г. составляет минимум, причем он меньше, чем для Донецкой области.

Для децентрализованного водоснабжения (колодцы, родники) Макеевки в 2011 г. наблюдается пик отклонений от норм. С 2007 по 2011 гг. наблюдается большая частота отклонений от норм, чем в среднем по области.

2. Состояние системы водоотведения и водоемов

Об объемах сброса загрязнений в поверхностные источники (р. Нижняя Крынка, р. Грузкая, р. Кривой торец) Макеевки можно судить по данным КП «Компания "Вода Донбасса"».

За период 2000–2011 гг. наблюдается значительное сокращение объемов городских сточных вод: на 35 % – с 2000 по 2011 гг. и на 3 % – с 2010 по 2011 гг. (рис. 4). Сброс нормативно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты Макеевки сократился в 2011 г. более чем вдвое, по сравнению с 2000 г. Это позволило естественным образом сократить нагрузку на водные объекты за период 2000–2011 гг.

Массы загрязнений по органическим веществам, взвешенным веществам, сульфатам, хлоридам и другим контролируемым веществам, поступающие в водоемы г. Макеевка с биологически очищенными водами, уменьшаются на несколько процентов в год, начиная с 2000 г, достигая минимума в 2011 г.

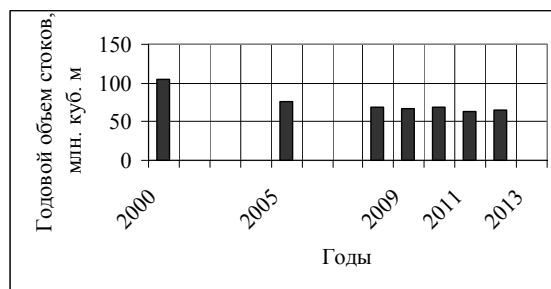


Рисунок 4 – Объемы сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения.

Данные анализов для одного из выпусков нормативно очищенных сточных вод (табл. 2) показывают характерный пример увеличения объемов сточных вод в 2012 г.

Таблица 2 – Данные по объемам и составу сточных вод, поступающих в водные объекты по Макеевскому ПУВКХ. Выпуск № 1 (городские очистные сооружения)

Показатели состава сточных вод	Разрешение на спецводопользование № УкрДон 3749 от 04.11.2008 (срок действия до 01.01.2012 г.)				Разрешение на спецводопользование № УкрДон 5342 от 14.09.2012 (срок до 01.04.2015 г.)			
	Выпуск № 1 – сброс в р. Грузкая бассейна р. Кальмиус							
	2011 г.				2012 г.			
	объем лимит. тыс. куб. м/год	объем фактич. тыс. куб. м/год	ПДС веществ, т/год	фактич. сброс, т/год	объем лимит. тыс. куб. м/год	объем фактич. тыс. куб. м/год	ПДС веществ, т/год	фактич. сброс, т/год
Взвешенные вещества	15 000	10 715	225,0	104,545	13 300	11 202	199,5	128,779
БПК5			150,0	64,571			133,0	95,85
ХПК			600,0	360,89			598,5	406,51
Сухой остаток			22 500	12 984			17 290,0	13 262,93
Хлориды			3750	2 079,87			3 325,0	1 994,018
Сульфаты			6 000,0	3 499,96			5 320,0	3 902,32
Азот аммонийный			30,0	16,418			26,6	19,028
Нитриты			30,0	15,547			26,6	19,497
Нитраты			900,0	624,323			864,5	720,072
Нефтепродукты			4,5	2,849			4,0	3,258
Железо общее			4,5	1,689			4,0	2,339
СПАВ			2,25	1,364			4,0	1,694
Фенолы			0,015	0,01			0,013	0,012
Роданиды			1,5	0,63			н. о.	н. о.
Цинк			7,5	0,21			н. о.	н. о.
Медь			3,0	0,525			н. о.	н. о.
Хром			1,5	0,525			н. о.	н. о.
Никель			1,5	0,63			н. о.	н. о.
Фосфаты			82,5	56,116			73,2	66,313

Объемы стоков имеют резерв сброса, то есть меньше лимитирующих объемов допустимых сбросов. Фактические сбросы основных химических загрязнений меньше величин допустимых сбросов (ПДС). Увеличение фактических сбросов в 2012 г. потребовало принять более жесткое по лимитам «Разрешение на спецводопользование до 01.04.2015 г.» Уменьшение нормативов водопользования скажется на улучшении экологии водоемов [6].

Экологическое состояние водоемов культурно-бытового назначения, предназначенных для купания, в рассматриваемый период 2008–2012 гг. – неудовлетворительно по показателю ЛКП (лактоположительных бактерий). Это привело к тому, что ни в одном водоеме города не разрешено купание.

ВЫВОДЫ

1. Объем потребления свежей воды населением г. Макеевка с 2000 по 2011 гг. уменьшился более, чем вдвое, а с 2008 по 2011 гг. – более, чем на треть. В 2012 г. наблюдается некоторое увеличение водопотребления. Динамика этих объемов, очевидно, связана с изменениями объемов промышленного производства.

2. Значительное отставание объемов водопотребления от объемов водоотбора из природных водных объектов говорит о потерях воды в магистральных трубопроводах и распределительных сетях Макеевского водопровода.

3. Питьевая вода, доставляемая жителям Макеевки от КП «Компания "Вода Донбасса"» за 2008–2012 гг., отвечает нормативам. Доля эпизодических отклонений от нормы снижается, и в 2012 г. она была минимальной. Отклонения от норм качества воды из децентрализованных источников водоснабжения более часты, чем в среднем по области. Следует, безусловно, увеличить степень централизации водоснабжения населения Макеевки.

4. Наблюдается уменьшение объемов нормативно очищенных сточных вод за период 2008–2011 гг. Причиной этого является сокращение водопотребления, а также износ (до 95 %), очистных сооружений и сетей.

5. Экологическое состояние водных ресурсов г. Макеевки можно считать удовлетворительным по статьям: водоотбор, водопользование и водоотведение очищенных стоков. Хотя стабильность этого состояния практически на пределе. Неудовлетворительным является состояние поверхностных водоемов культурно-бытового назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы [Электронный ресурс] / Доклад о состоянии окружающей среды города Макеевка / Г. В. Аверин, В. Н. Новосад, А. В. Звягинцева, Е. Г. Аверин ; под общей редакцией А. Мальцева. – Макеевка : [б. и.], 2008. – С. 33–37. – Режим доступа : www.ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/17063.
2. Про Загальнодержавну цільову програму «Питна вода України» на 2011–2020 роки [Текст] : Закон України 3 березня 2005 року № 2455-IV : В редакції Закону № 3933-VI від 20 жовтня 2011 року // Відомості Верховної Ради України. – 2012. – № 24. – С. 1000–1010.
3. Водоснабжение [Текст] : учебн. пособ. для вузов / [А. Я. Найманов, С. Б. Никиша, Н. Г. Насонкина и др.]. – Донецк : Норд-Пресс, 2004. – 649 с.
4. ДСТУ 4808:2007. Источники централизованного питьевого водоснабжения. Гигиенические и экологические требования к качеству воды и правила выбора [Текст]. – [Чинний від 2009-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 40 с. – (Національний стандарт України).
5. ДСанПіН. Вода питна. Гігієнічні вимоги до централізованого господарсько-питного водопостачання [Текст]. – [Чинний від 1996-12-23]. – К. : МОЗ України, 1996. – 21 с. – (Державні правила і санітарні норми України).
6. Lowen, S. B. Fractal renewal processes generate 1/f noise [Текст] / S. B. Lowen, M. C. Teich / Physycal Reviev E. – 1993. – Vol 47, № 2. – P. 992–1001.

Получено 01.10.2013

О. І. БАЛІНЧЕНКО, В. І. НЕЗДОЙМІНОВ СУЧАСНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ МАКІЇВКИ Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У даній статті проаналізовані щорічні об'єми видбору води крупним містом Макіївка з основного поверхневого джерела – каналу Северській Донець-Донбас за період 2000–2012 роки. Знайдені залежності водоспоживання і водовідведення населенням р. Макіївка за той же період часу. Для цих характеристик використані літературні відомості за 2000–2007 рр., а також дані промислових підприємств міста – за 2008–2012 рр. Відмічене значне зменшення об'ємів водовідбору, водоспоживання і водовідведення за період 2008–2011 р. Зменшення об'ємів відведення води дозволило скоротити навантаження стічних вод на міські очисні споруди, що створило деякий резерв можливостей для ремонтів цих споруд. З цієї ж причини зменшилося надходження із стічними водами забруднень в р. Грузька та р. Нижня Кринка. З 2012 р. намітилася тенденція до збільшення споживання води населенням р. Макіївка.

водні ресурси, водовідбір, водоспоживання, водовідведення, відсоток відхилення від якості

OXSANA BALYNCHENKO, VICTOR NEZDOYMYNOV MODERN STATE OF WATER RESOURCES OF MAKEEVKA Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In this article the annual volumes of selection of water by the large city Makeyevka from a basic superficial source – channel Seversky Donets-Donbas for period 2000–2012 years have been analyzed. Dependences of

consumption of water and uniting of water by the population of Makeyevka for that period of time have been found. For these descriptions literary information is used after 2000–2007 y., and also information of industrial enterprises of city – after 2008–2012. Considerable diminishment of volumes of taking of water, consumption of water and uniting of water for period of 2008–2011 have been marked. Diminishment of volumes of taking of water allowed shortening loadings of sewages on city cleansing buildings, that created some reserve of possibilities for repairs of these buildings. The receipt with sewages of contaminations in and Lower milk Jug Gruzskaya diminished for the same reason. With 2012 a tendency to the increase of consumption of water by the population Makeyevka was set.

water resources, taking of water consumption of water, uniting of water, percent of deviation from quality

Балінченко Оксана Йосипівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: корозія і захист водопроводів, захист трубопроводів від накипу, електрохімічні методи очищення води.

Нездойминов Віктор Іванович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: очищення природних і стічних вод.

Балинченко Оксана Иосифовна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: коррозия и защита водопроводов, защита трубопроводов от накипи, электрохимические методы очистки воды.

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: очистка природных и сточных вод.

Balynchenko Oksana – PhD (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: corrosion and defense of plumbings, defense of pipelines from scum, electrochemical methods of water treatment.

Nezdoymynov Victor – DSc (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cleaning of sewages natural and water.

УДК 697.353.2

А. О. ОЛЕКСЮК, И. Г. ШИТИКОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В МНОГОКОНТУРНЫХ ЗМЕЕВИКОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

Многоконтурные теплообменные аппараты находят все большее применение в системах теплоснабжения от индивидуальных пунктов (ИТП) с подогревательно-аккумуляторными установками (ПАУ) змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий.

подогревательно-аккумуляторная установка, трехконтурный теплообменник, система независимого теплоснабжения

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Предложенные теплообменные аппараты являются незаменимыми, если используется теплоноситель от геотермального источника теплоты, содержащего твердые взвешенные частицы, которые могут оседать на теплообменных поверхностях.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Существует большое количество данных по интенсифицированным процессам, протекающим в теплообменных аппаратах, расчет теплообмена и сопротивления для которых проводят преимущественно по эмпирическим зависимостям [4]. В подавляющем большинстве случаев рекомендуемые расчетные зависимости получены по результатам экспериментов на опытных или находящихся в эксплуатации установках. Модели, позволяющие, даже приблизительно, оценить характеристики вновь создаваемых поверхностей без проведения эксперимента, практически отсутствуют. Основная проблема, затрудняющая создание моделей, – отсутствие в литературных источниках достаточной информации о геометрии исследованных поверхностей и протекающих в них процессах [1].

Рассмотрен многоконтурный теплообменник змеевикового типа, расположенный в ПАУ на ИТП, как показано на рисунке.

В теплообменном аппарате известны: температуры греющего теплоносителя t_1^I и t_1^{II} с расходом G_1 на входе и выходе из корпуса теплообменного аппарата; температуры нагреваемого теплоносителя отопительного контура t_2^I и t_2^{II} с расходом G_2 ; температура нагреваемого теплоносителя третьего контура системы горячего водоснабжения t_3^I и t_3^{II} с расходом G_3 , который сливался в бак-аккумулятор горячей воды [9, 10].

Неизвестными являются: расход первичного теплоносителя G_1 ; начальная и конечная температуры воды в аккумулирующей емкости t_4 ; расход воды из БА, поступающей в систему горячего водоснабжения, согласно графика суточного водопотребления G_4 ; диаметры первого, второго, третьего и четвертого контуров теплообменного аппарата F_1 , F_2 , F_3 и F_4 – всего семь неизвестных.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Для определения параметров теплообменного аппарата используется решение системы уравнений с помощью конструктивного и поверочного расчетов, которые позволяют выбрать его оптимальные величины.

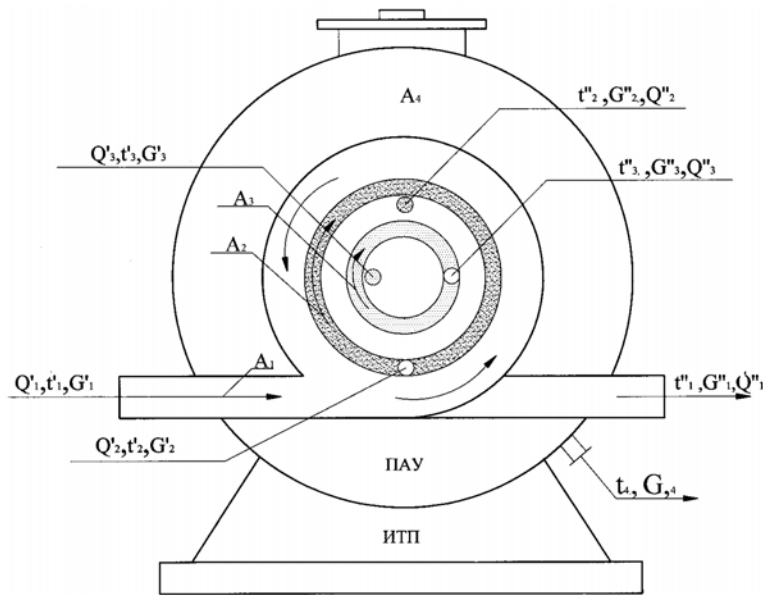


Рисунок – Многоконтурный теплообменный аппарат змеевикового типа для независимого присоединения систем отопления и горячего водоснабжения: A_1 – площадь поперечного сечения для прохода греющего теплоносителя; A_2 – площадь поперечного сечения змеевика контура системы отопления; A_3 – площадь поперечного сечения змеевика системы горячего водоснабжения (ГВС); A_4 – площадь поперечного сечения бака-аккумулятора горячей воды в ПАУ на ИТП.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Метод решения задачи сводится к следующему: записывается возможное число независимых балансовых уравнений теплоты, позволяющих определить семь неизвестных величин. Остальные неизвестные величины необходимо каким-то образом задать [5].

Определяется тепловая мощность теплообменника по нагреваемым теплоносителям для контуров системы отопления Q_2 и горячего водоснабжения Q_3 по формулам:

$$Q_2 = G_2 \cdot C_2 (t_2'' - t_2'), \quad (1)$$

$$Q_3 = G_3 \cdot C_3 (t_3'' - t_3'), \quad (2)$$

где G_2 и G_3 – расходы нагреваемых теплоносителей, кг/с;
 C_2 и C_3 – теплоемкости нагревательных теплоносителей при средних температурах нагреваемых теплоносителей t_2^{cp} и t_3^{cp} , кДж/(кг·К);

$$t_2^{cp} = \frac{t_2'' + t_2'}{2} \text{ и } t_3^{cp} = \frac{t_3'' + t_3'}{2}. \quad (3)$$

Все данные в уравнениях (1...3) известны.

С учетом тепловых потерь теплообменного аппарата (ТА) через наружную поверхность бака-аккумулятора определяется суммарная мощность ТА и расхода первичного теплоносителя по формуле, кг/с:

$$G_1 = \frac{Q_2 + Q_3}{C_1 (t_1' - t_1'')} \eta_{пот}. \quad (4)$$

Если первичным теплоносителем является пар, то формула (4) принимает вид, кг/с:

$$G_{II} = \frac{Q_2 + Q_3}{(i_{II}'' - t_K')} \eta_{пот}, \quad (5)$$

где C_1 – теплоемкость первичного теплоносителя при средней температуре, кДж/(кг·К);

$$t_1^{cp} = 0,5(t_1'' + t_1'), \quad (6)$$

$$i_{cp} = 0,5(t_n + t_k), \quad (7)$$

i'' – энтальпия насыщенного пара при давлении P_{HAC} кДж/кг;

i' – энтальпия воды на линии насыщения при давлении P_{HAC} кДж/кг;

η_2 – коэффициент потерь теплоты через наружную поверхность бака-аккумулятора.

В дальнейшем расписывается уравнения теплового баланса:

– теплообмен между первичным теплоносителем и нагреваемым теплоносителем отопительного контура, Вт:

$$Q_{1-2} = K_1 \cdot F_2 (t_1^{cp} - t_2^{cp}), \quad (8)$$

– теплообмен между первичным теплоносителем и нагреваемым теплоносителем контура системы горячего водоснабжения, Вт:

$$Q_{1-3} = K_2 \cdot F_3 (t_1^{cp} - t_3^{cp}), \quad (9)$$

– теплообмен между первичным теплоносителем и водой, находящейся в аккумулирующей емкости через корпус теплообменника, Вт:

$$Q_{1-4} = K_3 \cdot F_1 (t_1^{cp} - t_4^{cp}). \quad (10)$$

При этом средние температуры греющего первичного теплоносителя и нагреваемых в змеевиках отопительного контура и системы горячего водоснабжения и воды в БА, соответственно равны:

$$t_1^{cp} = 0,5(t_1^I + t_1^{II}), \quad (11)$$

$$t_2^{cp} = 0,5(t_2^I + t_2^{II}), \quad (12)$$

$$t_3^{cp} = 0,5(t_3^I + t_3^{II}), \quad (13)$$

$$t_4^{cp} = 0,5(t_4^I + t_4^{II}). \quad (14)$$

Количество теплоты, воспринимаемое теплоносителем контура системы отопления, Вт:

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2 (t_2^I - t_2^{II}). \quad (15)$$

Количество теплоты, получаемое нагреваемым теплоносителем контура горячего водоснабжения, Вт:

$$Q_3 = G_3 \cdot c_3 (t_3^{II} + t_3^I). \quad (16)$$

Количество теплоты, идущее на подогрев воды, находящееся в аккумулирующей емкости при снижении водоразбора на горячее водоснабжение через корпус теплообменника, Вт:

$$Q_4 = G_4 \cdot c_4 (t_1^{cp} - t_4^{cp}). \quad (17)$$

Уравнения (8), (9), (10) и (15), (16), (17) представляют собой систему из шести уравнений с двенадцатью неизвестными величинами:

$$Q_{1-2}, Q_{1-3}, Q_{1-4}, F_2, F_3, F_1, G_2, t_2^I, t_2^{II}, G_4, Q_2, Q_4.$$

Расход первичного теплоносителя G_1 определяется из суммарной мощности ТА по нагреваемым теплоносителем для контуров систем отопления и горячего водоснабжения G_2 и G_3 , которые считаются заданными и соответственно их температуры t_3^I и t_3^{II} , а также t_2^I и t_2^{II} [7].

С точки зрения минимальных потерь теплоты ТА унос теплоты в контуре системы отопления принят равным нулю, из этого условия вытекает неизменность температур нагреваемого теплоносителя, т. е. в расчете принято $t_2^I = t_2^{II} = t_2$.

При этом условии из последнего соотношения выпадает уравнение (15), а вместе с тем и три неизвестных величины t_2^{II} , Q_2 , G_2 .

После ряда преобразований и упрощений температура нагреваемого теплоносителя в змеевике контура горячего водоснабжения:

$$t_3^{II} = \frac{a_2}{1+a_2} (t_2^{II} - t_2^I) + 2 \frac{a_2}{1+a_2} t_2^I + \frac{1-a_3}{1+a_3} t_3^I + \frac{1-a_4}{1+a_4} t_4, \quad (18)$$

где $\frac{k_1 \cdot F_2}{2G_2 \cdot c_2} = a_1$; $\frac{k_2 \cdot F_3}{2G_3 \cdot c_3} = a_2$; $\frac{k_3 \cdot F_1}{2G_4 \cdot c_4} = a_3$; $\frac{k_4 \cdot F_4}{2G_4 \cdot c_4} = a_4$,

$$(t_2'' + t_2') = \frac{2a_1(1+a_3)t_1 + 2a_2 \cdot t_3' - 2t_2'(a_1 + a_2 + a_3 + a_1 \cdot a_4)}{1 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_1 \cdot a_4} \quad (19)$$

В уравнении (19) величину t_2' можно принять равной t_2 из предыдущего конструктивного расчета.

По условию задачи величина $(t_2'' - t_2')$ должна быть близкой к нулю. Отклонение ее от нуля может служить мерой обоснованности упрощающих допущений, принятых при конструктивном расчете. Если $(t_2'' - t_2') < 0$, то необходимо увеличить теплообменную поверхность змеевика отопительного контура в баке аккумулятора, а если $(t_2'' - t_2') > 0$, то теплообменную поверхность можно не изменять, а уменьшить расход первичного теплоносителя G_1 .

$$\begin{cases} 1. G_1 \cdot c_1(t_1' - t_1'') = G_2 \cdot c_2(t_2'' - t_2') + G_3 \cdot c_3(t_3'' - t_3) + G_4 \cdot c_4(t_3'' - t_4) + G_4 \cdot c_4(t_4 - t_{окр}); \\ 2. K_{общ} \cdot \sum F \cdot \Delta t_{cp}^{общ} = k_1 \cdot F_2(t_1^{cp} - t_2^{cp})k_2 \cdot F_3(t_1^{cp} - t_3^{cp}) + k_3 \cdot F_1^{TO}(t_1^{cp} - t_4^{cp}) + k_4 \cdot F_4^{TA}(t_4^{cp} - t_{окр}). \end{cases}$$

ВЫВОДЫ

Вышеизложенное теоретическое рассмотрение вопросов теплопередачи в многоконтурном теплообменнике ПАУ змеевикового типа позволяет сформулировать методику расчета ТА, которая должна включать в себя две части: конструктивный и поверочный расчеты, используя два уравнения теплового баланса (19 и 20).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бережная, О. К. Моделирование теплогидравлических процессов и разработка методики обобщения данных по эффективным теплообменникам [Текст] : дис. ... канд. хим. наук / Бережная О. К., Московский техн. ун-т. – М., 2005. – 166 с.
2. Усадский, Д. Г. Совершенствование схем автономных источников теплоты в системах отопления и горячего водоснабжения [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. Г. Усадский. – Волгоград, 2012. – 18 с.
3. Бодрова, Е. В. Совершенствование схем альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Бодрова. – Волгоград, 2012. – 16 с.
4. Sadawarte, Y. A. Non Conventional Sources of Energy [Текст] / Y. A. Sadawarte, T. Hiware // International Conference on Emerging Frontiers Technology. Proceedings published in International Journal of Computer Applications (IJCA). – 2012. – Number 2. – P. 8. – ISSN 2278-0181.
5. Wang, L. Plate heat exchangers: design, applications and performance [Text] / L. Wang, B. Sundén, R. M. Manglik. – Great Britain : WIT Press, 2007. – 288 p. – ISBN 978-1-85312-737-3.
6. Greene, Richard. Process Energy Conservation [Текст] / Richard Greene. – New York : McGraw-Hill Publications Co., 1982. – 323 p. – ISBN 0-07-010697-5.
7. Манюк, В. И. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей [Текст] / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж. – М. : Стройиздат, 1987. – 215 с.
8. Олексюк, А. О. Математическая модель расчета теплообменников змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения [Текст] / А. О. Олексюк, И. Г. Шитикова, А. А. Горделюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2012. – Вип. 2012-2(94) : Інженерні системи та технологія безпеки. – С. 70–75. – ISSN 1814-3296.
9. Олексюк, А. О. Конструктивный расчет теплообменника змеевикового типа для систем отопления и горячего водоснабжения [Текст] / А. О. Олексюк, И. Г. Шитикова, А. А. Горделюк // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2012. – Т. 8, № 1. – С. 37–44. – ISSN 1993-3495.

Получено 26.09.2013

А. О. ОЛЕКСЮК, І. Г. ШИТІКОВА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ В БАГАТОКОНТУРНИХ ЗМІЙОВИКОВИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТАХ Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Багатоконтурні теплообмінні апарати знаходять все більше застосування в системах теплопостачання від індивідуальних пунктів (ІТП) з підігрівально-акумуляторними установками (ПАУ) змійовикового типу для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання житлових і громадських будівель.
підігрівально-акумуляторна установка, триконтурний теплообмінник, система незалежного теплопостачання

ANATOLIY OLEKSIUK, IRINA SHITIKOVA
THEORETICAL SCIENTIFIC OF HEAT AND MASS EXCHANGING PROCESSES
RUNNING IN MULTICIRCUIT HEAT EXCHANGING UNITS OF A COILED
TYPE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Multicircuit heat exchanging units are more and more frequently used in the heat supply systems from individual stations with reheating battery-driven units of a coiled type for the independent heating and hot water supply systems in residential and public buildings.

a heating-storage unit, a three-circuit heat exchanger, an independent hot water supply system

Олексюк Анатолій Олексійович – доктор технічних наук, професор кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури, член спеціалізованої вченої ради Д 12.085.02 ДонНАБА. Наукові інтереси: теорія, розрахунок та проектування систем теплопостачання з індивідуальними тепловими пунктами і багато-контурними теплообмінниками.

Шитікова Ірина Геннадіївна – аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах ТГВ.

Олексюк Анатолий Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, член специализированного ученого совета Д 12.085.02 ДонНАСА. Научные интересы: теория, расчет и проектирование систем теплоснабжения с индивидуальными тепловыми пунктами и многоконтурными теплообменниками.

Шитикова Ирина Геннадиевна – аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах ТГВ.

Oleksyuk Anatoliy – DSc (Eng.), Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, a member of the specialized scientific council D 12.085.02 DonNASA. Scientific interests: theory, calculation and designing energy recourse saving heat supply systems with individual heat points and many contours transformations.

Shitikova Irina – post-graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy resource in the systems HGSV.

УДК 628.1

А. Н. КВАРТЕНКО

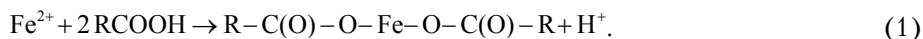
Национальный университет водного хозяйства и природопользования

ТЕХНОЛОГИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ АГРЕССИВНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С НИЗКИМ ЩЕЛОЧНЫМ РЕЗЕРВОМ, СОДЕРЖАЩИХ АММИАК И ЖЕЛЕЗООРГАНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Показано, что в современных условиях подземные воды представляют собой сложную многокомпонентную систему, для кондиционирования которых предлагается последовательно использовать комплекс биофизико-химических методов, позволяющих активизировать процессы водоочистки, достигая синергетического эффекта. Приведенные результаты теоретических, лабораторных и производственных исследований очистки многокомпонентных железосодержащих агрессивных подземных вод с низким щелочным резервом. Выполнена теоретическая обработка химизма процесса их подщелачивания. Определены оптимальные параметры бикарбонатной щелочности подземных вод для развития железобактерий. По результатам исследований предложена технология, позволяющая корректировать ряд физико-химических параметров системы, необходимых для интенсификации процессов биологического окисления, коагуляции, фильтрации, стабилизации.

многокомпонентные воды, комплексно органические соединения, железо и марганец окисляющие бактерии, окисление аммиака, комплексная технология обезжелезивания, корректировки физико-химического состава воды, корректировки бикарбонатной щелочности воды, биореактор, стабилизация фильтра

Проведя анализ защищенности подземных водоносных горизонтов на территории Украины, можно констатировать, что более чем 60 % водоносных горизонтов территории Украины относятся к категориям незащищенных и условно защищенных [1]. Физико-химический качественный состав таких вод формируется как за счет геохимических процессов взаимодействия воды с водовмещающими породами, так и под воздействием антропогенных факторов. К типичным представителям первой группы относятся различные формы железа, марганца, бора, брома, фтора, а также растворенные газы – диоксида углерода, сероводорода, радона. В подземных водах, имеющих подпитку из лесных озер и болот, металлы могут находиться в составе прочных комплексов с гуминовыми кислотами (Fe-ГК, Mn-ГК) и фульвокислотами (Fe-ФК, Mn-ФК):



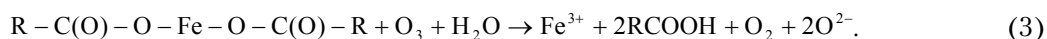
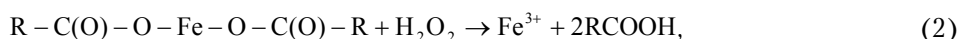
При использовании обычных технологических схем обезжелезивания – упрощенная (глубокая) аэрация – фильтрование, находящиеся в воде ионы железа могут окисляться до Fe^{3+} , однако процессу гидролиза во многом мешают фульвокислоты (ФК), образующие с Fe^{3+} стабильную систему Fe-ФК, что делает данные методы обезжелезивания малоэффективными. Интенсивность гидролиза железа в присутствии ФК зависит от количественного соотношения ФК/ Fe^{3+} и pH среды. С повышением pH системы ФК способны удерживать все меньшие концентрации Fe^{3+} вследствие усиленной конкуренции со стороны группы OH^- . Однако в подземных водах с высокой буферностью системы использование известного реагентного метода обезжелезивания: аэрация – подщелачивание (с использованием раствора CaCO_3) также не является эффективным, вследствие перерасхода щелочного реагента и повышения жесткости обрабатываемой воды, а также необходимостью ввода в технологическую схему блока отстойников.

При хлорировании таких вод гумусовые вещества, образующие легколетучие хлорорганические производные и обладающие мутагенной активностью, весьма сложно поддаются окислению и удалению на традиционных водоочистных сооружениях. Такие воды характеризуются, как правило, низкими значениями pH (5,5...6,8), редокс потенциала (до 100 мВ), бикарбонатной щелочности

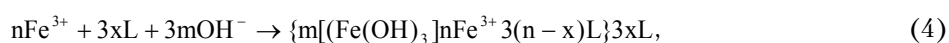
© А. Н. Квартенко, 2013

(0,9...3,0 мг экв/л), повышенной цветностью (более 30 град) и высокой перманганатной окисляемостью (5–50 мг/л). Ко второй группе следует отнести ингредиенты антропогенного загрязнения от промышленных предприятий, сельского хозяйства, коммунального сектора. Наиболее яркими представителями данной группы в подземных водах являются: азот аммонийные соединения, аммиак, фенол, пестициды и летучие органические вещества высоких классов опасности. Таким образом складывается ситуация, при которой действующие станции обезжелезивания, работающие в технологических режимах: упрощенная (глубокая) аэрация – фильтрование, подщелачивание – аэрация – отстаивание – фильтрование зачастую не могут добиться необходимого качества фильтрата.

Современные технологии очистки вод такого физико-химического состава используют для разрушения фульватных и гуминовых комплексов сильные окислители (O_3 , H_2O_2 , $KMnO_4$, $HOCl$, Cl_2):



В результате чего образуются весьма стабильные гетерогенные коллоидные взвешенные системы с большим отрицательным поверхностным зарядом:



которые удаётся дестабилизировать лишь с использованием ионогенных электролитов [11, 12]. Использование сильных окислителей, как и повышенных доз коагулянтов, приводит к удорожанию системы водоочистки. Кроме того, подземные воды названного региона весьма агрессивны по отношению к металлу и бетону (таблица) и требуют стабилизационной обработки.

Таблица – Характеристика параметров качества подземных вод некоторых водозаборов Северо-Западных областей Украины

Наименование водозабора	Параметры качества воды							Индекс Ланжелье Ризнера	
	рН, ед	Щелочность, Мг-экв/л	Перманганатная окисляемость, мгО/л	Аммиак, мг/л	H ₂ S мг/л	Железо, мг/л			
	Ровенская область								
с. Балашовка	6,4–6,5	1,4–1,6	до 5	до 2,0	до 2*	4,8–8,5	–1,67	10	
п. г.т. Рокитно	6	0,9–1,4	7	1,7–2,5(4)*	до 4	15–24	–2,4	10,8	
г. Костополь	7,1	1,76	до 9	не опр.	не опр.	5	–1,08	9,26	
с. Старое-Село	7 (5,8)*	1–2,7 (4,5)*	5,8–7,0 (11)*	1,5–3,0	до 3	2,5–3,4 (11)	–0,29	7,67	
п. г. т. Заречное	7,1	1,55–2,00	3,8–6,4	2,5	не опр.	7,8–9,0	–0,52	8,14	
г. Березно	7,4	2,4–2,85	до 5,0	до 0,5	до 1	0,9–2,45	–0,44	8,28	
Волинская область									
г. Каменец-Каширский	7,45	3,5	2,4	1,8	не опр.	1,5–1,8	–0,29	8,23	
Хмельницкая область									
г. Славути	7,1	4,0–4,5	2,4–4,0	до 0,5	не опр.	1,5–2,5	–0,29	7,93	

*Примечание: Возможны некоторые изменения параметров качества подземных вод как по годам, так и по сезонам.

Таким образом, в настоящее время на большинстве водозаборов очистку подземных вод следует рассматривать не столько как процесс обезжелезивания (деманганизации), а как комплекс процессов, позволяющих удалять из природных вод ряд ингредиентов как природного, так и антропогенного происхождения, тесно взаимосвязанных между собой.

Проблемам очистки подземных вод посвящены работы таких ученых, как Г. Ю. Асса, М. Г. Журбы, Ж. М. Говоровой, Г. И. Николадзе, О. Я. Олейника, В. О. Орлова, Н. А. Сафонова, К. А. Мамонтова, П. Д. Хоружего, В. О. Терновцева и др.

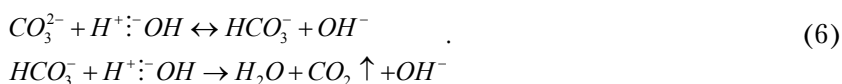
Изучив работы отечественных и зарубежных ученых [2–8], изменения качества воды на действующих водозаборах ряда областей Украины [10, 11] и эффективность работы действующих станций обезжелезивания, нами была поставлена задача модернизации существующих и внедрения новых энерго- и ресурсосберегающих технологий комплексной очистки подземных вод сложного физико-химического состава.

В качестве одного из решений данной задачи нами предложен комплексный биофизико-химический метод очистки подземных вод с учетом присутствия в них тех или иных компонентов как природного, так и антропогенного происхождения. Метод базируется на последовательно выстроенных в технологическую цепочку процессах таким образом, чтобы предшествующие процессы, не ингибировали, а активировали последующие, добиваясь тем самым синергетического эффекта в очистке. Основой для разработки предлагаемой технологии послужили теоретические выкладки [9] и экспериментальные исследования [10, 11], проведенные на водах подземного горизонта п. г. т. Рокитно, п. г. т. Заречное и с. Балашовка Ровенской области (таблица). Работа была разделена на несколько этапов. На первом этапе были рассмотрены несколько возможных вариантов прохождения химических реакций в зависимости от типа применяемого щелочного реагента и точки его ввода [9]. Выполненные теоретические проработки химизма процесса подщелачивания слабокислых железосодержащих вод с низким щелочным резервом позволили остановиться на оптимальном, с нашей точки зрения, процессе: **подщелачивание → аэрация → биоокисление → обработка коагулянтom → фильтрование**. Использование в данной схеме кальцинированной соды в качестве подщелачивающего реагента позволяет отказаться от блока разделения фаз и рассматривать протекание комплекса химических реакций по следующему механизму: диссоциация соединений $Fe(HCO_3)_2$; Na_2CO_3 с последующим их гидролизом, вывод продуктов гидролиза из зоны реакции с последующим окислением соединений $Fe(OH)_2$ кислородом воздуха:

1 этап: диссоциация соединений Na_2CO_3 :



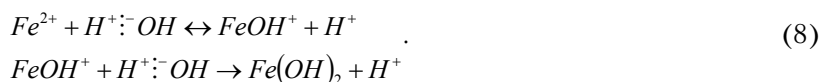
2 этап: гидролиз Na_2CO_3 по аниону:



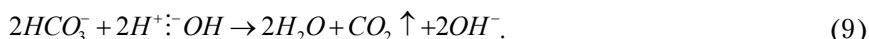
3 этап: диссоциация кислой соли $Fe(HCO_3)_2$:



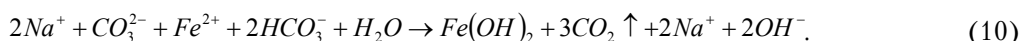
4 этап: гидролиз гидрокарбоната железа (II) по катиону:



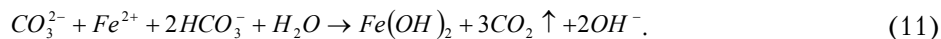
гидролиз гидрокарбоната железа (II) по аниону:



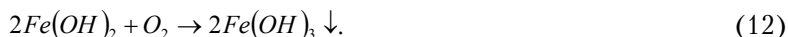
Полное молекулярно-ионное уравнение реакции:



Сокращенное молекулярно-ионное уравнение реакции:



Поскольку в результате гидролиза в воде одновременно присутствуют ионы H^+ и OH^- , параллельно происходит процесс образования малодиссоциированного вещества – воды: $2H^+ + 2OH^- \rightarrow 2H_2O$, что выводит продукты гидролиза из зоны реакции и способствует более полному протеканию процесса образования $Fe(OH)_2$ с его последующим окислением кислородом воздуха:



Таким образом обеспечивается непрерывность прохождения химических реакций гидролиза с последующим окислением продуктов реакции и как следствие достигается интенсификация процесса реагентного обезжелезивания природных вод без кардинальных капитальных затрат в существующих технологических процессах.

На втором проведены исследования в бактериологической лаборатории Ровенской СЭС на предмет выявления оптимальных значений щелочности обрабатываемой воды для развития колоний железобактерий (рис. 1), что дает нам возможность корректировать значение бикарбонатной щелочности перед модулем биореактора путем ввода расчетных доз раствора кальцинированной соды.

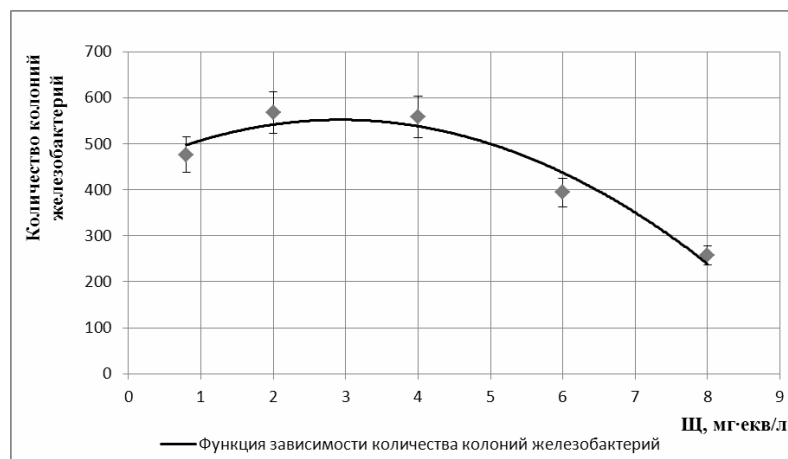


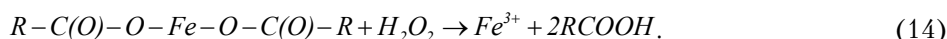
Рисунок 1 – Зависимость количества колоний железобактерий от величины бикарбонатной щелочности среды.

Известно, что в результате процессов жизнедеятельности железобактерий одним из продуктов метаболизма является пероксид водорода, накапливающийся на поверхности капсул.

В нейтральной или слабощелочной среде окисление Fe^{2+} до Fe^{3+} происходит в результате непосредственного взаимодействия с пероксидом водорода следующим образом:



Этот процесс протекает в капсулах, чехлах, слизистых выделениях, на поверхности клеточной стенки. Кроме того, выделение пероксида водорода микроорганизмами способствует более эффективному разрушению органических соединений:



При этом нарабатанный железобактериями природный коагулянт в форме $Fe(OH)_3$ выступает в дальнейшем в качестве центров коагуляции при последующем введении искусственного коагулянта извне.

На третьем этапе проведены натурные исследования на действующей станции обезжелезивания в п. г. т. Рокитно с целью сравнения эффективности работы существующей и предлагаемой схем (рис. 2). В состав действующей станции обезжелезивания на сегодняшний день входят пять напорных фильтров первой ступени, два напорных фильтра второй ступени, блок аэрации в составе компрессора – бака ресивера. Сжатый воздух вводится непосредственно в трубопровод перед фильтрами первой ступени. Параметры качества воды представлены в таблице. Результаты одного из характерных фильтроциклов приведены на рисунке 2.

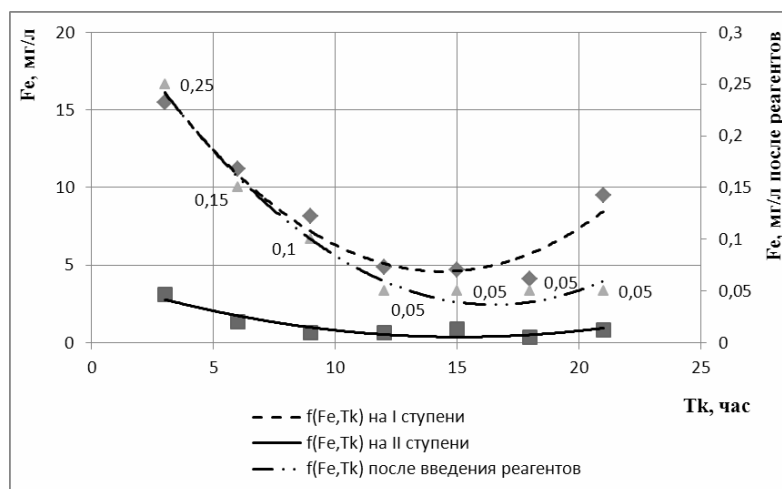


Рисунок 2 – Результаты характерного фильтроцикла на станции обезжелезивания воды п. г. т. Рокитно.

Как видно из приведенных результатов, продолжительность фильтроцикла в среднем составляет 18–22 часа, проскок двухвалентного железа в фильтрат составляет 0,68–2,50 мг/л. Такая проблема поясняется наличием в подземных водах, имеющих подпитку из болот, высокомолекулярных органических соединений (ВМС), в основу которых входят железогуминовые комплексы (Fe-ГК) – агрегативно устойчивые по аналогии с истинными растворами. Процессы нарушения их устойчивости связаны с переходом от полного растворения ВМС к ограниченному растворению или полному разделению фаз. Изменение растворимости ВМС достигается введением электролита (рис. 2), в результате чего происходит превращение гомогенной системы раствора в гетерогенную с последующим процессом раздела фаз. На рис. 3 приведены параметры изменения рН системы во время фильтроцикла. Из которого следует, что предварительное введение щелочного реагента перед биореактором необходимо еще и по причине резкого падения рН системы в результате удаления значительного количества бикарбонатного железа и замедления согласно [12] роста железобактерий, а также невозможности проведения процесса коагуляции.

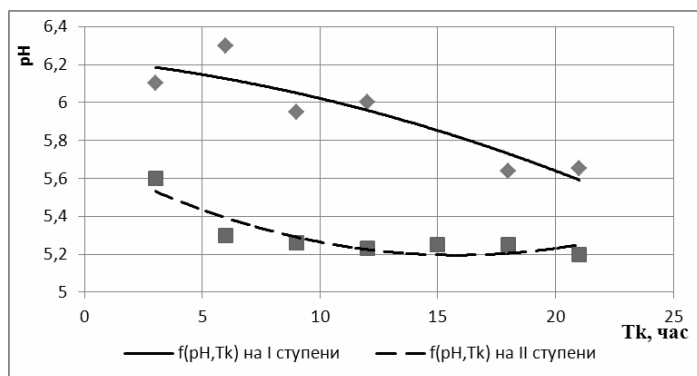


Рисунок 3 – Изменения состояния pH системы на протяжении фильтроцикла.

Таким образом, введение перед блоком биореактора раствора кальцинированной соды одновременно нейтрализует часть агрессивного диоксида углерода, корректирует бикарбонатную щелочность в область активизации окислительных процессов железобактерий окисляющих как легко окисляемую органику (рис. 4), аммиак (рис. 5), так и железогуминовые комплексы, повышает щелочной резерв системы, необходимый для последующего ввода раствора коагулянта.

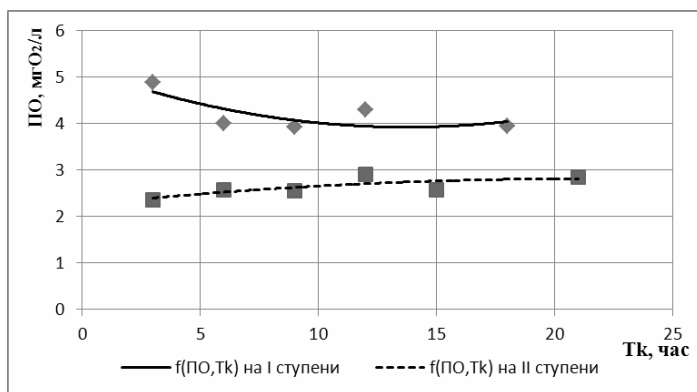


Рисунок 4 – Изменение значений перманганатной окисляемости на протяжении фильтроцикла.

На четвертом этапе выполнены проекты реконструкции действующей станции обезжелезивания п. г. т. Рокитно, а также проект станции обезжелезивания для школы колледжума с. Балашовка успешно внедренный согласно предложенной технологии [14]. Новизна технологий защищена патентами Украины [15, 16].

Блок-схема кондиционирования многокомпонентных подземных вод с изменениями их фазово-дисперсного состояния представлена на рис. 6. Технологический процесс включает: предварительную обработку исходной воды раствором соды → аэрацию → блок биореактора → ввод раствора коагулянта → блок фильтров → блок обеззараживания → блок стабилизации фильтрата.

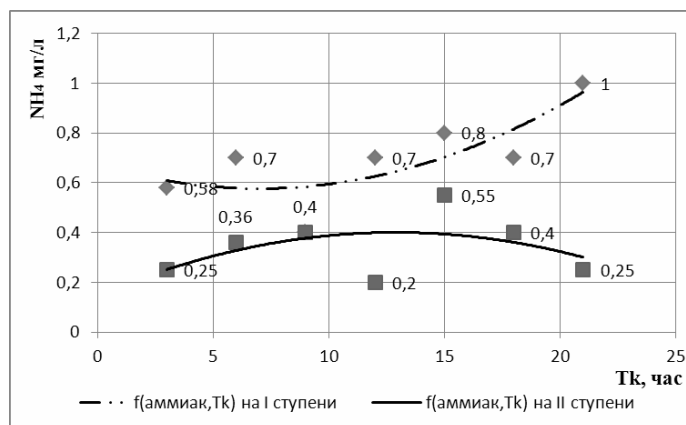


Рисунок 5 – Изменение концентрации аммиака на протяжении фильтроцикла.



Рисунок 6 – Блок-схема кондиционирования многокомпонентных подземных вод с изменениями фазово-дисперсного состояния рассматриваемых систем внутри технологического процесса.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая технология позволяет проводить корректировку ряда физико-химических параметров системы, необходимых для интенсификации процессов биологического окисления, коагуляции, фильтрования, стабилизации фильтрата. К основным корректируемым параметрам следует отнести: pH – Eh системы, щелочность, агрессивный и равновесный диоксид углерода, растворенный кислород, содержание ионов кальция. Кроме того, предлагаемая технология позволяет значительно (до 30–40 %) снизить дозы коагулянтов за счет протекания биофлокуляционных процессов посредством наработки железобактериями природного коагулянта, а также снижать концентрации как легко окисляемых органических веществ, так и аммиака. Эффективность процесса коагуляции подготавливается заранее корректированием бикарбонатной щелочности и pH обрабатываемой воды на стадии очистки перед биореактором путем ввода расчетных доз щелочного реагента – соды и сжатого воздуха. Причем данная корректировка бикарбонатной щелочности и pH позволяет активизировать процессы жизнедеятельности железобактерий. Дальнейшее разделение фаз происходит на осветлительном фильтре с последующей коррекцией стабильности фильтрата, причем продолжительность фильтроцикла при использовании данной технологии увеличивается минимум в два раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2003 році [Текст] / М. Гіроль, С. Проценко, А. Гіроль та ін. – Рівне : НУВГП, 2005. – 450 с.
2. Золотова, Е. Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода [Текст] / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.
3. Сафонов, Н. А. Самопромывающиеся водоочистные установки [Текст] : Научное издание / Н. А. Сафонов, А. Н. Квартенко, А. Н. Сафонов. – Ровно : РГТУ, 2000. – 155 с.
4. Знезалізнєння підземних вод для питних цілей [Текст] : Наукове видання / В. О. Орлов, А. Н. Квартенко, С. Ю. Мартинов, Ю. І. Гордієнко. – Рівне : УДУВГП, 2003. – 155 с.
5. Очищення природної води на піно полістирольних фільтрах [Текст] : Наукове видання / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, А. М. Орлова [та ін.] ; за загальною редакцією В. О. Орлова. – Рівне : НУВГП, 2012. – 171 с. – ISBN 978-966-327-214-6.

6. Николадзе, Г. И. Улучшение качества подземных вод [Текст] / Г. И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1987. – 240 с.
7. Журба, М. Г. Водоснабжение [Текст]. Том 2. Улучшение качества воды : Учебник для вузов / М. Г. Журба, Ж. М. Говорова. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 544 с. – ISBN 978-5-93093-542-4.
8. Классификаторы технологий очистки природных вод [Текст] / М. Г. Журба, А. П. Нечаев, Г. И. Ивлева, Ж. М. Говорова. – М. : ГПИ «Союзводоканалпроект», 2000. – 118 с.
9. Квартенко, А. Н. Теоретические основы механизмов химических реакций в технологических схемах обезжелезивания слабокислых, низкощелочных природных вод с использованием щелочных реагентов [Текст] / А. Н. Квартенко, И. Б. Грюк // Материали за IX Международна научна практична конференция «Бъдещите изследвания – 2013» (София, 17–25 февруари 2013). – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013. – Т. 30. – С. 27–31.
10. Журба, М. Г. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод [Текст] / М. Г. Журба, Ж. М. Говорова, А. Н. Квартенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 9. – С. 17–23.
11. Квартенко, А. Н. Характеристика подземных вод Северо-Западных областей Украины и технологические схемы их кондиционирования [Текст] / А. Н. Квартенко // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки : Науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2011. – Випуск 16. – С. 32–40.
12. Кондиционирование подземных вод многокомпонентного физико-химического состава [Текст] / М. Г. Журба, О. Б. Говоров, Ж. М. Говорова, А. Н. Квартенко // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – М. : ООО Вертикаль, 2012. – № 4(52). – С. 18–26. – ISSN 2072-2710.
13. Журба, М. Г. К обоснованию технологий деманганации подземных вод [Текст] / М. Г. Журба, Ж. М. Говорова, А. Н. Квартенко // Водоснабжение и санитарная техника. – М. : ООО «Издательство ВСТ», 2013. – № 6. – С. 5–13. – ISSN 0321-4044.
14. Квартенко, А. Н. Модернизированные технологии комплексного кондиционирования подземных вод [Текст] / А. Н. Квартенко, Ж. М. Говорова // Вестник МГСУ : Научно-технический журнал. – М. : Издательство МИСИ-МГСУ, 2013. – № 5. – С. 118–126. – ISSN 2304-6600.
15. Пат. № 79151 Україна, МПК C02F 1/64, C02F 1/66. Спосіб очищення слабо кислих підземних вод з низьким лужним резервом [Текст] / Квартенко О. М. ; заявник та патентовласник Квартенко О. М. – № u201212591 ; заявл. 05.11.2012 ; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7/2013. – 3 с. : ил.
16. Пат. № 80341 Україна, МПК C02F 1/64, C02F 3/00, C02F 7/00 Спосіб очищення підземних вод від сполук заліза [Текст] / Квартенко О. М. ; заявник та патентовласник Квартенко О. М. – № u201213456 ; заявл. 26.11.2012 ; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10/2013. – 3 с. : ил.

Получено 04.10.2013

О. М. КВАРТЕНКО

ТЕХНОЛОГІЯ КОНДИЦІОНУВАННЯ АГРЕСИВНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД З НИЗЬКИМ ЛУЖНИМ РЕЗЕРВОМ, ЯКІ МІСТЯТЬ АМІАК ТА ЗАЛІЗООРГАНІЧНІ КОМПЛЕКСИ

Національний університет водного господарства та природокористування

Наведені результати теоретичних, лабораторних та виробничих досліджень очищення багатокомпонентних залізовмісних агресивних підземних вод з низьким лужним резервом. Виконано теоретичне опрацювання хімізму процесу їх підлужування. Визначені оптимальні параметри бікарбонатної лужності підземних вод для розвитку залізобактерій. Розглянута концепція ендogenous окислення залізоорганічних, легкоокислювальної органіки, аміаку продуктами внутрішньоклітинного метаболізму активованих феро- і марганцеокислювальних бактерій в технічних системах спільно з адресним введенням реагентів. Розглянута технологія дозволяє зменшити на 30–40 % витрати реагентів порівняно із існуючими реагентними схемами за рахунок активізації біофлокуляційних процесів в засипці біореактора.

багатокомпонентні води, комплексно органічні сполуки, залізо- та марганцеокислювальні бактерії, окислення аміаку, комплексна технологія знезалізнення, коригування фізико-хімічного складу води, коригування бікарбонатної лужності води, біореактор, стабілізація фільтрату

ALEXANDER KVARTENKO

TECHNOLOGY CONDITIONING AGGRESSIVE GROUNDWATER LOW BASE RESERVE CONTAINING AMMONIA AND ORGANIC COMPLEXES OF IRON

National University of Water Management and Nature

In this paper, by analyzing the quality of the ground water of the North-Western region of Ukraine, it is proposed to consider a number of retrofit technologies for their complex purification. The author argue

that the underground water is a multi-component system. Proposed by the author of water treatment technology is a complex biological, physical and chemical methods allowing to achieve a synergistic effect. The results of theoretical, laboratory and industrial research intensive treatment of multicomponent iron aggressive groundwater with low alkaline reserve. Theoretical study of the chemistry of the process alkalization. The optimal parameters of bicarbonate alkalinity groundwater for development of iron bacterias. According to the research the technology that allows the adjustment of some physico-chemical parameters of the system needed to intensify the processes of biological oxidation, coagulation, filtration, stabilization.

multicomponent water, complex organic compounds, iron and marhantseokyslyuyuchi bacteria, ammonia oxidation, complex technology iron removal, adjustment of physical and chemical composition of water, adjusting bicarbonate alkalinity water, bioreactor, stabilized filtrate

Квартенко Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи Національного університету водного господарства та природокористування. Наукові інтереси: комплексне очищення підземних вод складного фізико-хімічного складу від сполук заліза, марганцю, залізогумінових комплексів, аміаку, стабілізаційної обробки води; розробка блочно-модульних водоочисних установок, обладнаних системами гідро-автоматичної промивки; дослідження у сфері АОП технологій (Advanced Oxidation Processes) для очищення природних вод від антропогенних інгредієнтів.

Квартенко Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и бурового дела Национального университета водного хозяйства и природопользования. Научные интересы: комплексная очистка подземных вод сложного физико-химического состава от соединений железа, марганца, железогуминовых комплексов, аммиака, стабилизационной обработки воды; разработка блочно-модульных самопромывающихся установок очистки подземных вод; исследование в области АОП технологий (Advanced Oxidation Processes) для очистки природных вод от антропогенных ингредиентов.

Kvartenko Alexander – PhD (Eng.), Associated Professor, Department of Water-Supply, Overflow-Pipe and Boring Business, National University of Water Management and Nature National University of Water Management and Nature. Scientific interests: complex purification of groundwater complex physical and chemical structure of the compounds of iron, manganese, organic complexes of iron, ammonia, water stabilization processing; development of modular self-washed ground water treatment plants; research on the AOP technology (Advanced Oxidation Processes) for natural water from man-made ingredients.

УДК 620.91(477)+797.34(477)

Д. В. ВЫБОРНОВ, С. И. МОНАХ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ТЕПЛОТУ ШАХТНОЙ ВОДЫ

Выполнен термодинамический анализ работы парокompрессионной теплонасосной установки (ТНУ), использующей теплоту шахтной воды для нужд теплоснабжения. Произведена оценка температурных и энергетических потенциалов в процессе цикла.

тепловая мощность, хладагент, термодинамический цикл, тепловой насос, эксэргия

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В связи с дефицитом топливно-энергетических ресурсов намечается четкая тенденция к использованию на предприятиях альтернативных источников энергии. В частности, на угледобывающих предприятиях в качестве низкотемпературного источника теплоты может использоваться и используется шахтная вода, которая после осветления поступает в теплообменник-испаритель теплонасосной установки (ТНУ). Для более эффективной работы и правильного подбора вновь устанавливаемого теплонасосного оборудования необходимо проанализировать особенности термодинамического цикла ТНУ, с чем и связана проблематика данной статьи.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа посвящена оценке эффективности термодинамического цикла ТНУ, использующей теплоту шахтной воды для нужд теплоснабжения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В ходе исследования проведен анализ термодинамического цикла работы парокompрессионной ТНУ, использующей теплоту шахтной воды с температурой 20 °С на нужды теплоснабжения с температурой 50 °С [1–3]. В качестве рассматриваемых рабочих тел циклов как безопасные для окружающей среды могут приниматься хладагенты R410a и R407c. В качестве объекта расчетно-аналитического исследования была принята ТНУ, использующая хладагент R410a.

Перед построением цикла необходимо определить давления насыщения при испарении и конденсации. Поскольку по рекомендациям [4, 5] температурный напор в процессе передачи теплоты в теплообменниках должен составлять 10 °С, и от этой температуры необходимо также отнять величину перегрева в трубопроводе перед компрессором, принимаемую 10 °С, а температура шахтной воды составляет 20 °С, то температура испарения составит 0 °С. Поскольку процесс испарения для упрощения можно принять изобарным, давление в испарителе для данной температуры будет составлять 7,7 бар.

Т. к. для нужд теплоснабжения требуется теплоноситель с температурой 50 °С, то, с учетом температурного напора, хладагент на входе в конденсатор должен иметь температуру 60 °С. Следовательно, поскольку процесс конденсации для упрощения можно принять изобарным, давление в конденсаторе будет составлять 37 бар.

Рассмотрим для начала идеальный цикл ТНУ (рис. 1, 2).

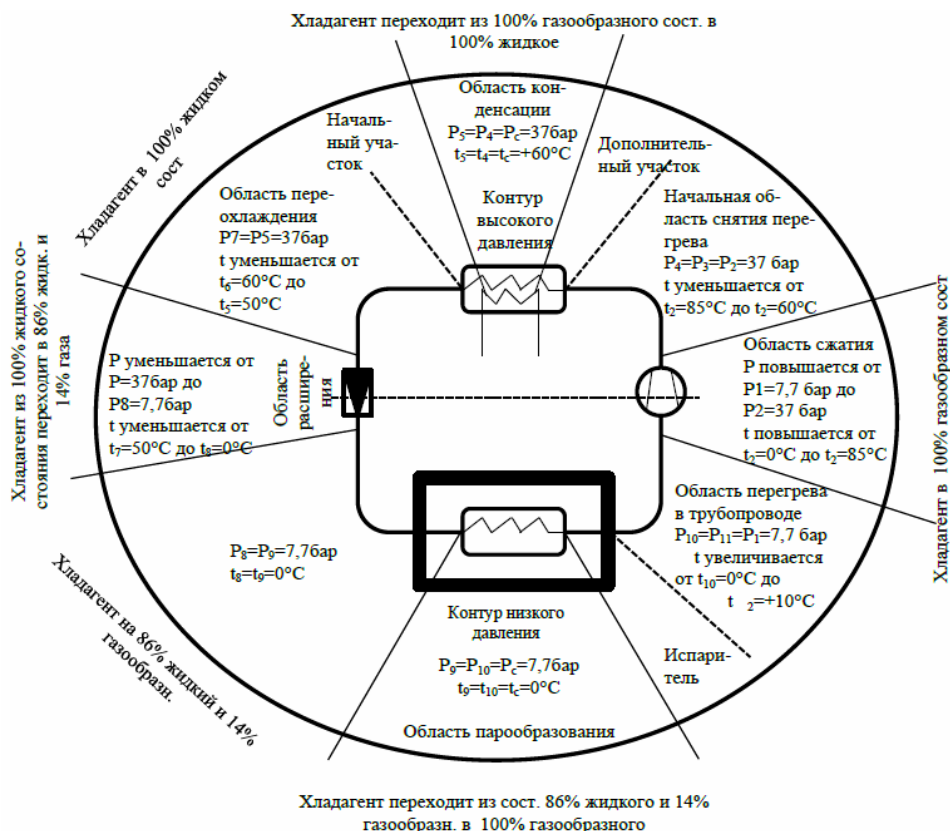


Рисунок 1 – Упрощенная схема цикла парокомпрессионного теплового насоса.

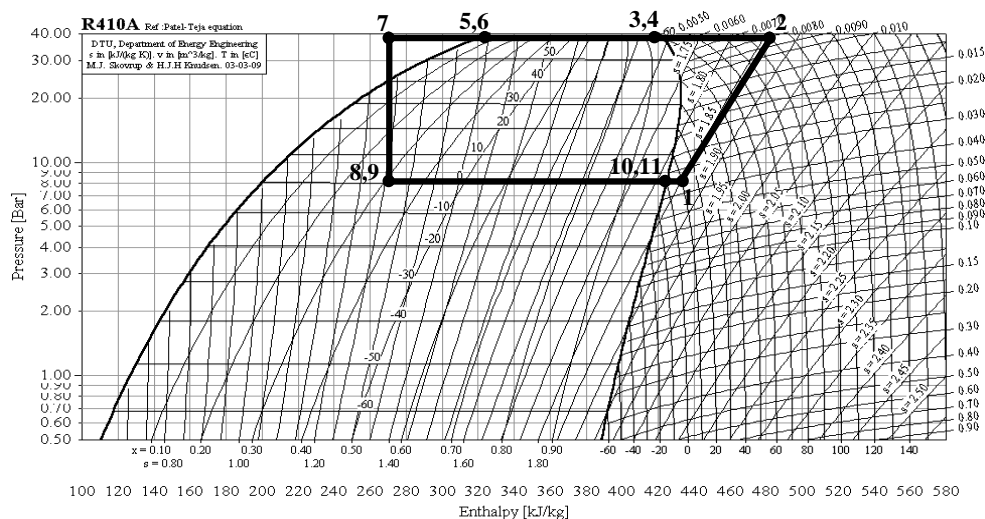


Рисунок 2 – Цикл идеальной ТНУ, утилизирующей теплоту шахтной воды на нужды теплоснабжения в h - $\lg P$ – координатах.

Перед компрессором (т. 1) хладагент полностью в газообразном состоянии (насыщенный пар). Давление равно давлению в контуре низкого давления и равно давлению в испарителе, 7,7 бар. Компрессор адиабатически сжимает хладагент до температуры 97 °С, которая превышает нужную температуру испарения. Снятие перегрева после компрессора происходит частично в трубопроводе между компрессором и конденсатором, и частично при входе в конденсатор. В конденсаторе устанавливается температура конденсации для данного давления (60 °С). На участке 6–7 происходит начальное переохлаждение в трубопроводе. Падение температуры при переохлаждении целесообразно принять на 20 °С. В дросселе часть хладагента (14 %) мгновенно испаряется, за счет чего

температура жидкой фазы резко понижается до 0°C на выходе. Давление понижается с 37,0 до 7,7 бар. Хладагент с температурой 0°C поступает в испаритель, где оставшаяся часть хладагента испаряется за счет отбора теплоты у шахтной воды. Увеличение степени сухости двухфазной смеси не очень благоприятно влияет на КПД испарителя. Расчетные параметры цикла в характерных точках приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры идеального цикла ТНУ с рабочим телом R410a в характерных точках

Точка	Параметры					
	p, бар	t, $^{\circ}\text{C}$	v, $\text{м}^3/\text{кг}$	h, кДж/кг	s, кДж/кг	x, %
1	7,7	10	0,037	433	1,85	100
2	37,0	97	0,008	478	1,85	100
3,4	37,0	60	0,005	427	1,68	100
5,6	37,0	59	–	318	1,37	100
7	37,0	20	–	231	1,34	0
8,9	7,7	-2	–	231	1,12	14
10,11	7,7	0	0,034	424	1,82	100

Цикл идеальной парокompрессионной холодильной машины, работающей при заданных параметрах приведен на рисунке 1.

Однако следует заметить, что при осуществлении реального цикла с такими параметрами возникнут проблемы в виде высокой температуры хладагента в конце сжатия. При повышении температуры хладагента свыше 80°C появляется высокая вероятность образования углерода в масле, что негативно влияет на его смазочные характеристики. Также происходит перегрев рабочих частей и корпуса компрессора, что вынуждает применять серьезные мероприятия по охлаждению корпуса компрессора, что, в свою очередь, приводит к удорожанию ТНУ за счет увеличения материалоемкости и внесения в конструкцию системы охлаждения. При этом в случае задействования системы охлаждения на этот процесс дополнительно затрачивается энергия, что снижает эффективность ТНУ. Следует также учитывать, что при эксплуатации реальной ТНУ точка конца сжатия будет еще смещаться в область повышения температуры из-за присутствия индикаторного, механического и объемных коэффициентов полезного действия, что тоже приведет к негативным последствиям.

Для снижения температуры хладагента в конце сжатия возможно применение компрессора, осуществляющего процесс «мокрого» сжатия (на всас поступает двухфазная жидкость, на выходе из компрессора имеются сухие пары хладагента). Цикл ТНУ, осуществляющей «мокрое» сжатие в компрессоре с температурой сжатого сухого пара не выше 85°C , представлен на рисунке 2. Точка конца сжатия располагается на кривой насыщения. В этом случае необходимо отметить, что КПД такой установки относительно невелик, поскольку работа компрессора расходуется не только непосредственно на сжатие хладагента и увеличение температуры его паров, но и на парообразование жидкой фазы смеси, поступающей на всас. Еще одним негативным фактором при эксплуатации компрессора, осуществляющего «мокрое» сжатие (рис. 3), является возможность возникновения явления кавитации, которое разрушает рабочие части механизмов.

Для увеличения КПД ТНУ и наиболее рационального использования теплоты шахтной воды с термодинамической точки зрения авторами предлагается использовать в установке компрессор с впрыском хладагента среднего давления. При этом компрессор в предлагаемой ТНУ осуществляет цикл квазидвухступенчатого сжатия. Часть хладагента после предварительного дросселирования перепускается и, охладившись в теплообменнике при понижении давления, поступает на штуцер впрыска компрессора. В зависимости от конструктивного исполнения компрессора подмешивание парожидкостной смеси среднего давления может осуществляться также во внешнем трубопроводе, идущем вдоль компрессора, куда поступают горячие пары хладагента с первичного сжатия. Смешивание происходит с помощью регулирующего вентиля впрыска. Этот впрыск производится для понижения температуры газа, который вначале проходит через корпус компрессора, охлаждая его, а затем поступает в цилиндры вторичного сжатия. Такая технология получила активное применение в тепловых насосах типа «Zubadan», использующих теплоту наружного воздуха.

Благодаря проведенному термодинамическому анализу приведенных выше циклов можно заключить, что наибольший КПД в сочетании приближенности к реальным условиям эксплуатации обладает именно цикл с квазидвухступенчатым сжатием (рис. 4). Температура конца сжатия составляет не более 80°C , что позволяет исключить негативное влияние перегрева масла и рабочих частей

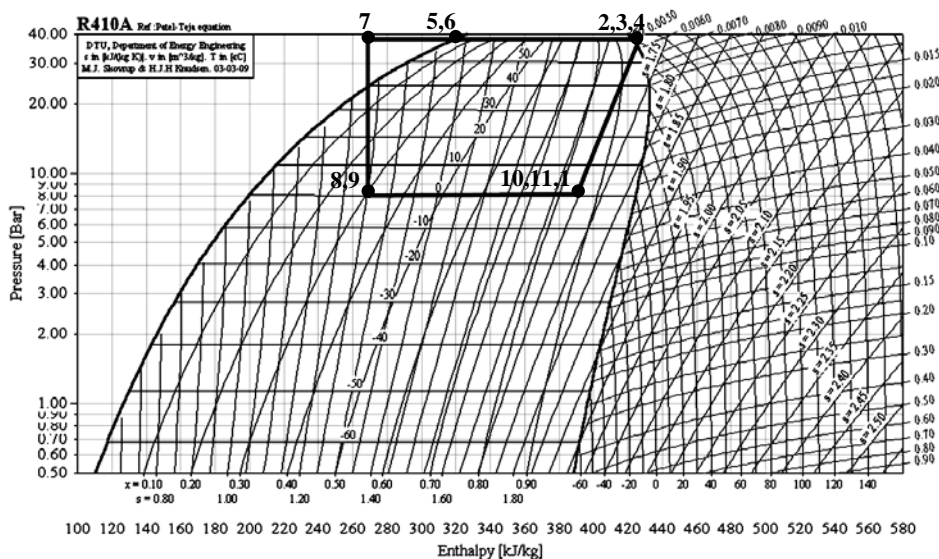


Рисунок 3 – Цикл ПКХМ, утилизирующей теплоту шахтной воды на нужды теплоснабжения в h - lgP – координатах при осуществлении «мокрого» сжатия.

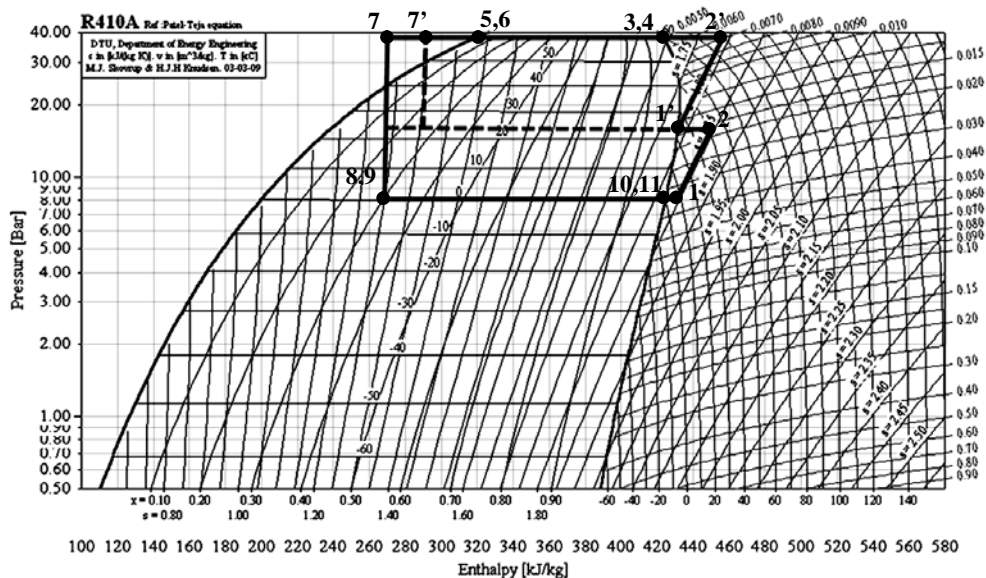


Рисунок 4 – Цикл ПКХМ, утилизирующей теплоту шахтной воды на нужды теплоснабжения в h - lgP – координатах при осуществлении квазидвухступенчатого сжатия.

механизма при тех же температурах отбора теплоты от шахтной воды и температуре воды на нужды теплоснабжения.

Далее приведены некоторые тепловые характеристики ТНУ, отбирающей теплоту шахтной воды с температурой 20 °С для нужд теплоснабжения с температурой 50 °С.

1. Удельная холодопроизводительность нетто (полезная) на килограмм циркулирующего хладагента, $q_{0m,n}$, равна разности энтальпий на выходе и входе холодильной камеры и является суммой удельной холодопроизводительности, относящейся к испарителю (точки 10–8/9) и удельной холодопроизводительности, относящейся к внутреннему объему холодильной камеры (т. 11–10) и связанной с полезным перегревом

$$q_{0m,n} = h_{11} - h_{8/9}; q_{0m,n} = 424 - 231 = 193 \text{ кДж/кг.} \quad (1)$$

2. Объемная холодопроизводительность нетто (полезная) на кубический метр хладагента, поступающего в компрессор, $q_{0v,n}$, равна отношению удельной холодопроизводительности нетто к удельному объему паров хладагента, всасываемых компрессором

$$q_{0v,n} = \frac{q_{0m,n}}{v_1}; q_{0v,n} = \frac{193}{0,037} = 5216 \text{ кДж/м}^3. \quad (2)$$

3. Удельная холодопроизводительность брутто на килограмм циркулирующего хладагента, $q_{0m,b}$, равна разности энтальпий хладагента между входом в компрессор и входом в испаритель (ТА с шахтной водой)

$$q_{0m,b} = h_1 - h_{8/9}; q_{0m,b} = 433 - 231 = 202 \text{ кДж/кг}. \quad (3)$$

4. Объемная холодопроизводительность брутто на кубический метр хладагента, поступающего в компрессор, $q_{0v,b}$, равна отношению удельной холодопроизводительности брутто к удельному объему паров, всасываемых в компрессор

$$q_{0v,b} = \frac{q_{0m,b}}{v_1}; q_{0v,b} = \frac{202}{0,037} = 5459 \text{ кДж/м}^3. \quad (4)$$

При расчете ТНУ необходимо учитывать следующие коэффициенты полезного действия.

1. Индикаторный КПД, $\eta_{инд}$. При реальном сжатии хладагента в компрессоре происходит не адиабатический процесс, а политропный. Когда пары хладагента попадают в компрессор, они имеют температуру ниже температуры стенок цилиндра и, следовательно, продолжают перегреваться. В конце же сжатия температура паров выше температуры стенок компрессора, следовательно, уже в конце сжатия пары хладагента отдают теплоту корпусу компрессора. Для того, чтобы компрессор не перегревался, предусматривается интенсификация его теплообмена с окружающей средой (воздухом, водой, маслом). К этим тепловым потокам добавляется еще теплота, возникающая от действия сил трения при движении поршня. Т. к. учесть все эти потоки теплоты очень сложно и трудоемко, предполагается, что часть теплоты идет на полезную работу над хладагентом (увеличение давления и температуры), а часть безвозвратно теряется за счет теплообмена компрессора с окружающей средой. Эти потери учитываются путем введения индикаторного КПД.

$$\eta_{инд} = \frac{w_u}{w_p} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1}, \quad (5)$$

где w_u – идеальная (изоэнтропная) работа сжатия;
 w_p – реальная (политропная) работа сжатия.

Определим при индикаторном КПД равным 80 %, как он повлияет на положение точки конца сжатия (т. 2).

$$h_{2'} = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_{инд}} = 433 + \frac{478 - 433}{0,8} = 489,25 \text{ кДж/кг}.$$

Характеристики хладагента с поправкой на индикаторный КПД приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Термодинамические параметры точки конца сжатия хладагента с учетом коэффициентов полезного действия

Точка	Параметры				
	p, бар	t, °C	v, м ³ /кг	h, кДж/кг	s, кДж/кг
2 (при осуществлении идеального цикла)	37	97	0,008	478	1,85
2' (с учетом индикаторного КПД)	37	105	0,0082	489,25	1,87
2'' (с учетом механического КПД)	37	115	0,0089	495,5	1,89

2. Механический КПД, $\eta_{мех}$. Необходим для учета потерь энергии в механизме компрессора на трение движущихся частей.

$$\eta_{мех} = \frac{w_u}{w_p} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2''} - h_1}. \quad (6)$$

С учетом индикаторного КПД, при механическом КПД = 90 %, получим

$$h_{2''} = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\eta_{инд} \cdot \eta_{мех}} = 433 + \frac{478 - 433}{0,8 \cdot 0,9} = 495,5 \text{ кДж/кг}.$$

Характеристики хладагента с поправкой на индикаторный и механический КПД приведены в таблице 2.

Произведение этих двух величин носит название эффективного КПД $\eta_{эф} = \eta_{инд} \cdot \eta_{мех}$.

Кроме этого, при проектировании ТНУ необходимо учитывать потери давления при всасывании в компрессор, потери давления на нагнетании из компрессора и потери давления в конденсаторе и в трубопроводе перед дросселем.

3. Также принято оценивать компрессор по полному объемному КПД, λ . Согласно идеальному циклу через цилиндры компрессора должен пройти определенный расход хладагента, однако из-за следующих факторов эта величина отличается от расчетной:

- запаздывание открытия и закрытия клапанов по отношению к конечным положениям поршня;
- влияние стенок, которые увеличивают температуру, а следовательно, удельный объем пара в пристенном слое, что приводит к уменьшению массового расхода;
- общее состояние установки, зависящее от скорости вращения вала, времени нахождения хладагента в цилиндре;
- негерметичность клапанов и трубопроводов, а также другие вторичные эффекты.

Все эти факторы учитываются путем введения полного объемного КПД, который для заданного объемного расхода при всасывании определяет значение описываемого объема за единицу времени и, следовательно, объем каждого цилиндра. Согласно [4] λ можно вычислить по формуле

$$\lambda = \frac{q_{v1}}{V_b} = \frac{q_m \cdot v_1}{V_b} = \frac{Q_{0b} \cdot v_1}{q_{0mb} \cdot v_b} = \frac{Q_{0b}}{q_{0vb} \cdot v_b}; \quad (7)$$

где q_{v1} – удельный объемный расход хладагента в начале сжатия, м³/с;
 V_b – объемный расход хладагента брутто, м³/с;
 q_m – удельный массовый расход хладагента, кг/с;
 v_1 – удельный объем хладагента, м³/кг;
 Q_{0b} – холодопроизводительность брутто, кВт;
 q_{0mb} – удельная холодопроизводительность брутто на килограмм циркулирующего хладагента, кДж/кг;
 q_{0vb} – объемная холодопроизводительность брутто на кубический метр хладагента, поступающего в компрессор, кДж/м³.

К механическим характеристикам ТНУ относятся следующие величины.

1. Удельная работа изотропного сжатия (теоретическая работа сжатия на 1 кг хладагента) определяется по формуле

$$w_u = h_2 - h_1; w_u = 478 - 433 = 45 \text{ кДж/кг}. \quad (8)$$

2. Удельная работа политропного сжатия (индикаторная) определяется по формуле

$$w_p = h_2 - h_1; w_u = 485,25 - 433,00 = 56,25 \text{ кДж/кг}. \quad (9)$$

3. Степень сжатия в компрессоре

$$\tau = \frac{P_c}{P_0}, \quad (10)$$

где P_c – давление конденсации, бар;
 P_0 – давление в испарителе, бар.

$$\tau = \frac{37}{7,7} = 4,8.$$

Холодильные коэффициенты, учитываемые при проектировании ТНУ.

1. Холодильный коэффициент для изотропного сжатия

$$\varepsilon_{is} = \frac{q_{0mb}}{w_u} = \frac{h_1 - h_{8/9}}{h_2 - h_1} = \frac{433 - 231}{478 - 433} = 4,49. \quad (11)$$

2. Холодильный коэффициент для политропного сжатия

$$\varepsilon_p = \frac{q_{0mb}}{w_p} = \frac{h_1 - h_{8/9}}{h_2 - h_1} = \frac{433 - 231}{489,25 - 433,00} = 3,59. \quad (12)$$

3. Холодильный коэффициент для эффективного сжатия

$$\varepsilon_{is} = \frac{h_1 - h_{8/9}}{h_{2*} - h_1} = \frac{433 - 231}{495,5 - 433,0} = 3,23. \quad (13)$$

4. Холодильный коэффициент для цикла Карно

$$\varepsilon_c = \frac{T_0}{T_c - T_0}, \quad (14)$$

где T_0 – температура испарения, К;
 T_c – температура конденсации, К.

$$\varepsilon_c = \frac{273}{333 - 273} = 4,55.$$

5. Внутренний показатель качества холодильной машины (термодинамический коэффициент эффективности), относящийся к эффективному сжатию

$$\zeta = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_c} = \frac{3,59}{4,55} = 0,79.$$

ВЫВОДЫ

1. Согласно произведенному анализу можно сделать вывод о целесообразности и эффективности применения компрессоров, использующих квазидвухступенчатое сжатие для утилизации теплоты шахтной воды на нужды теплоснабжения.

2. При расчете ТНУ необходимо учитывать все возможные коэффициенты, приближающие реальный цикл к осуществляемому в тепловом насосе.

3. Потери давления при всасывании и нагнетании вызывают следующие негативные явления: увеличивается степень сжатия; возрастает температура в конце сжатия; потребляемая мощность увеличивается; холодопроизводительность снижается; уменьшается общий КПД установки.

4. Данные статьи также могут служить материалом для анализа эксергии потоков теплоносителей в ТНУ, использующей теплоту шахтных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лук'янов, О. В. Шахтні води як джерело теплоти для систем теплопостачання [Текст] / О. В. Лук'янов, С. І. Монах, Д. В. Выборнов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-6(86) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 90–95.
2. Выборнов, Д. В. Шахтні води як джерело теплоти для систем теплопостачання [Текст] / Д. В. Выборнов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2011. – Вип. 2011-5(91) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 98–105.
3. Горожанкин, С. А. Техническая и ресурсная составляющая процесса энергоресурсосбережения в Украине [Текст] / С. А. Горожанкин, Д. В. Выборнов, С. И. Монах // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2012. – Вип. 2012-2(94) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 3–8.
4. Мааке, В. Учебник по холодильной технике [Текст] / В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж. Л. Кошпен ; Перевод с французского д-ра техн. наук В. Б. Сапожникова. – Москва : Изд-во Ордена «Знак Почета» Московского университета, 1998. – 1135 с. – ISBN 2-85330-127-3.
5. Галимова, Л. В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы [Текст] : [Учебное пособие для специальностей «Техника и физика низких температур»] / Л. В. Галимова ; Астрахан. гос. тех. ун-т. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 1997. – 226 с.

Получено 04.10.2013

Д. В. ВИБОРНОВ, С. І. МОНАХ
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО ЦИКЛУ РОБОТИ
ПАРОКОМПРЕСІЙНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ
ТЕПЛОТУ ШАХТНОЇ ВОДИ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано термодинамічний аналіз роботи парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ), що використовує теплоту шахтної води для потреб теплопостачання. Зроблено оцінку температурних і енергетичних потенціалів у процесі циклу.

теплова потужність, хладагент, термодинамічний цикл, тепловий насос, ексергія

DMITRY VYBORNOV, SVETLANA MONAKH
SCIENTIFIC OF THERMODYNAMIC CYCLE OF WORKS OF THE VAPOR
COMPRESSION HEAT PUMP WHICH USES HEAT MINE WATER
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

A thermodynamic analysis of the vapor compression heat pump unit, which uses heat of the mine water for heating has been carried out. The estimation of the temperature and the energy potential in the process cycle has been done.

heat capacity, refrigerant, thermodynamic cycle heat pump, exergy

Виборнов Дмитро Володимирович – аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання та гарячого водопостачання з використанням тепло насосних технологій.

Монах Світлана Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання при впровадженні тепло насосних та когенераційних технологій виробництва енергоносіїв.

Выборнов Дмитрий Владимирович – аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения с использованием теплонасосных технологий.

Монах Светлана Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения при внедрении теплонасосных и когерационных технологий производства энергоносителей.

Vybornov Dmitry – a post-graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving in heat and hot water supply systems with use of heatpump technics.

Monakh Svetlana – PhD (Eng.), the senior lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in heat supply systems with introduction of heat pump and cogeneration technologies of energy carry production.

УДК 697.34

Н. В. ДОЛГОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО И ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ТРЕХКОНТУРНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ЗМЕЕВИКОВОГО ТИПА

Рассмотрены вопросы решения актуальной проблемы энергоресурсосбережения в системах центрального теплоснабжения, связанные с переходом от четырехтрубной системы теплоснабжения к двухтрубной за счет устройства индивидуальных тепловых пунктов с трехконтурными теплообменниками змеевикового типа, обеспечивающими гидравлическую устойчивость в саморегулирующихся системах отопления и горячего водоснабжения зданий различной этажности.

система теплоснабжения, ИТП, система отопления, ГВ, энергосберегающая, независимая, змеевик

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

На сегодняшний день в связи с растущей потребностью экономии энергоресурсов актуальной является проблема создания эффективных схем теплоснабжения жилищно-коммунального сектора.

Основой любой системы теплоснабжения являются котельные, ТЭЦ либо местные источники теплоты. В централизованных системах теплоснабжения параметры теплоносителя, поставляемого потребителю, не всегда удовлетворяют санитарно-гигиеническим требованиям теплоснабжения зданий. Поэтому необходимо регулирование отпуска теплоты, которое происходит в тепловом пункте, обслуживающем группу зданий или отдельно стоящее здание.

В настоящее время наиболее распространенной является схема присоединения к квартальным тепловым сетям от ЦТП через элеватор (рис. 1), обеспечивающая постоянство коэффициента смешения при изменении температур подаваемого теплоносителя, однако для этого в системе должен быть обеспечен неизменный напор сетевого теплоносителя на вводе и гидравлическое сопротивление системы отопления.

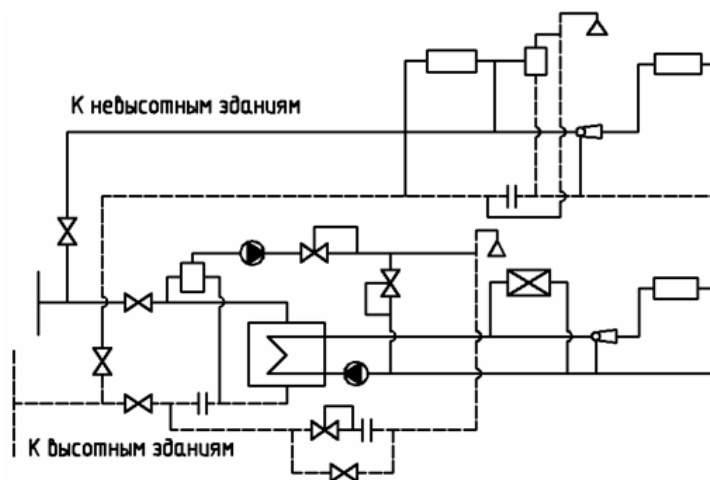


Рисунок 1 – Зависимая схема и независимая схема присоединения систем отопления с помощью элеватора [2, 3].

При такой схеме подключения нет возможности регулирования температур непосредственно у абонента, в результате возникают «перетопы» и «недогревы» помещений, также остается проблема металлоемкости системы теплоснабжения. Данные недостатки подталкивают к поиску решений этих технических проблем [1].

Наиболее актуальным и более выгодным решением на данный момент есть индивидуальные тепловые пункты с независимым подключением абонента. На сегодняшний день нашли широкое применение пластинчатые, кожухотрубные и змеевиковые теплообменники, которые устанавливаются на индивидуальных тепловых пунктах.

Индивидуальный тепловой пункт с пластинчатым теплообменником имеет существенный недостаток – быстрая засоряемость пластин, большие площади для отдельно устанавливаемых баков аккумуляторов, обязательная замена резиновых прокладок при профилактике (рис. 2).

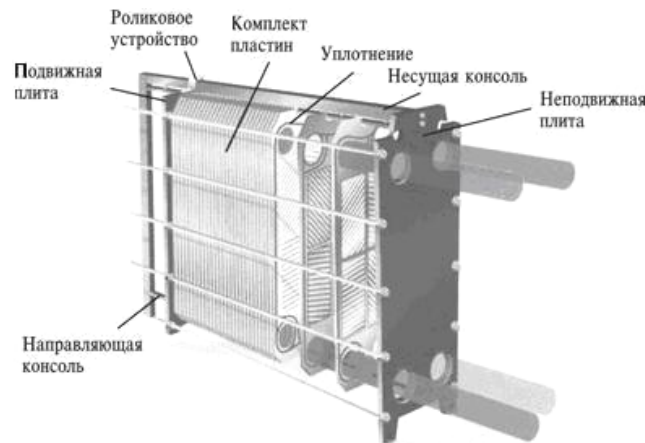


Рисунок 2 – Пластинчатый теплообменник.

Использование кожухотрубных теплообменников в схеме подключения с ИТП также имеет ряд недостатков, в частности габариты, плохая теплоотдача.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Работа является продолжением серий публикаций автора по исследованию проблем энергоресурсосбережения в системах теплоснабжения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью настоящей работы является внедрение разработанной саморегулирующей, энергосберегающей системы теплоснабжения от ИТП с подогревательно-аккумуляторной установкой и трехконтурным теплообменником змеевикового типа для независимой системы отопления и горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Нами была создана лабораторная установка по исследованию теплотехнических характеристик теплообменников различных конструкций.

На данном стенде были проведены исследования эффективности работы трехконтурного теплообменника змеевикового типа (рис. 3).

Установка состоит из трех контуров.

Первый контур включает источник теплоты, состоящий из емкостного котла мощностью 2 кВт, циркуляционного насоса, расходомера, расширительного бака и группы безопасности, представленной манометром, сбросным клапаном и клапаном для выпуска воздуха [4, 5].

Во втором контуре системы отопления установлены два алюминиевых радиатора, циркуляционный насос, расходомер и КИП.

Контур горячего водоснабжения представлен накопительным баком, циркуляционным насосом, расходомером и КИП.



Рисунок 3 – Лабораторная установка для исследования теплотехнических характеристик теплообменников различной конструкции.

Исследования проводились в лаборатории кафедры ТТГВ.

Начальными параметрами для исследований являлись:

- температура воздуха в помещении – 16 °С;
- параметры теплоносителя из котельной – 80 °С;
- температура холодной воды – 10 °С.

В ходе исследований проводились замеры:

- в контуре системы отопления измерялись
 - температуры подающего и обратного теплоносителя;
 - расход теплоносителя;
 - температуры воздуха в помещении;

в контуре системы горячего водоснабжения

- температуры на выходе из теплообменника;
- температуры на выходе из бака-аккумулятора;

в контуре источника теплоты

- температуры подающего и обратного теплоносителей;
- расход теплоносителя.

Для контуров системы отопления и горячего водоснабжения было проведено по три эксперимента с изменением расхода теплоносителя в контуре источника теплоты. Продолжительность каждого опыта составляла 60 мин, периодичность снятий показаний – 10 мин.

В контуре системы отопления температура в подающем трубопроводе составляла 70 °С, в обратном – 60 °С.

В контуре системы горячего водоснабжения наблюдалось падение температуры теплоносителя на выходе из теплообменника и в подающем трубопроводе контура источника теплоты, вследствие недостаточной мощности котла, установленного в схеме. Это позволило сделать вывод о том, что котельная должна работать на повышенном графике отпуска теплоты и минимальная температура в подающем трубопроводе контура источника теплоты должна составлять 80 °С.

Проведенные исследования позволили построить графики зависимости (рис. 4, 5).

ВЫВОД

Проведенные исследования показали, что использование в схеме с ИТП трехконтурного змеевикового теплообменного аппарата позволяет повысить эффективность систем теплоснабжения за счет возможности качественного регулирования параметров теплоносителя непосредственно у абонента. Организация индивидуальных тепловых пунктов позволит отказаться от четырехтрубных систем и перейти на двухтрубные, что повлечет за собой снижение металлоемкости. Подключение абонентов по независимой схеме дает возможность снизить затраты на водоподготовку.

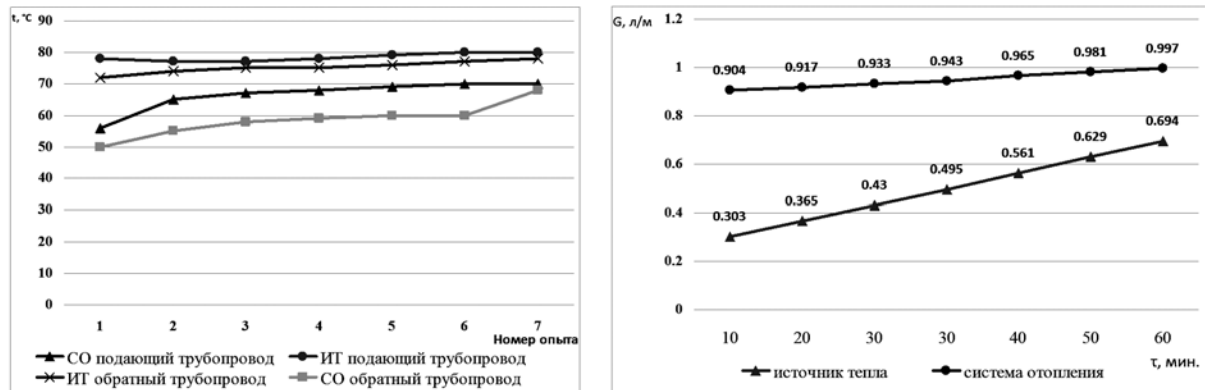


Рисунок 4 – Графики зависимости температуры и расхода от времени контура отопления (СО) и источника теплоты (ИТ).

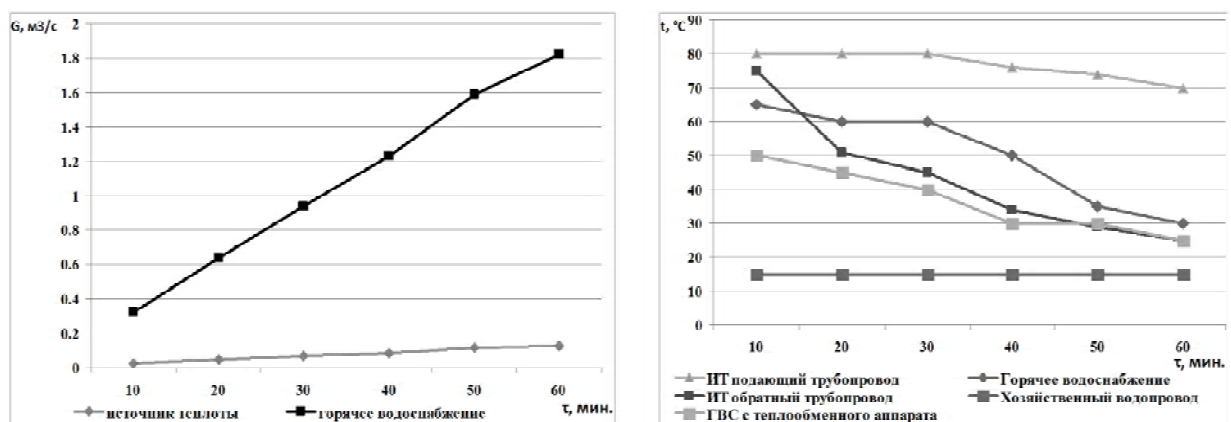


Рисунок 5 – Графики зависимостей температуры и расхода от времени контура горячего водоснабжения и источника теплоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилкин, Н. В. Оценка экономической эффективности оснащения отопительных приборов терморегуляторами [Текст] / Н. В. Шилкин // Энергосбережение. – К., 2007. – № 4. – С. 20–24.
2. Зингер, Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем [Текст] / Н. М. Зингер. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с.
3. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: Учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. – 6-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 2006. – 360 с.
4. Ширипов, А. Я. Энергосберегающие и энергоэффективные технологии – основа энергетической безопасности [Текст] / А. Я. Ширипов // АВОК. – 2006. – № 4. – С. 4–6.
5. Пат. 70731 Україна МПК F 24D 11/00. Триконтурний теплообмінник змійовикового типу для систем опалення та гарячого водопостачання від альтернативного джерела теплоти [Текст] / А. О. Олексюк, М. В. Долгов; заявник та володар А. О. Олексюк. – № у 2010 13983; заявл. 28.11.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12. – 4 с.

Получено 26.09.2013

М. В. ДОЛГОВ
ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ТА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ
ТРИКОНТУРНОГО ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТА ЗМІЙОВИКОВОГО
ТИПУ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто питання вирішення актуальної проблеми енергоресурсощадження в системах центрального теплопостачання, пов'язані з переходом від чотиритрубною системи теплопостачання

до двотрубної за рахунок улаштування індивідуальних теплових пунктів з триконтурними теплообмінниками змійовикового типу, що забезпечують гідравлічну стійкість в саморегульованих системах опалення та гарячого водопостачання будівель різної поверховості.

система теплопостачання, ІТП, система опалення, ГВ, енергоощадна, незалежна, змійовик

NYKOLAY DOLGOV

THE STUDY OF HYDRAULIC AND THERMAL CONDITIONS OF THREE-LOOP
HEAT EXCHANGER COIL TYPE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The questions of the solution of the actual problem of energy saving in centralized heating systems with the transition from a system of four-to two-pipe heating devices through individual heating units with three circuits coil type heat exchangers, which provide hydraulic resistance in self-regulative systems heating and hot water supply of buildings of varying height have been considered.

heating system, individual heating system, hot water cylinder, energy-saving, independent, coil

Долгов Микола Вікторович – викладач-стажер кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах теплопостачання.

Долгов Николай Викторович – преподаватель-стажер кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения.

Dolgov Nikolay – assistant lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: saving of energy resources in systems of heat supplying.

УДК 628.16.06

А. В. ЖИБОЕДОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПАРАМЕТРЫ ФИЛЬТРОВАНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ТКАНЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ РАБОТЕ В СИСТЕМАХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В статье рассмотрены вопросы параметров фильтрации и регенерации нетканых микромембран. Определена область применения этих материалов, приведена конструкция установки для удаления взвешенных веществ из биологически очищенных сточных вод. Приведены результаты экспериментов по определению параметров работы сооружений доочистки сточных вод от взвешенных веществ. Получены зависимости для интегральной скорости фильтрования. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность регенерации синтетических нетканых микромембран.

доочистки сточных вод, фильтрации, вакуумная регенерация

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Водно-хозяйственный комплекс Украины в настоящее время требует разработки и внедрения технологий очистки хозяйственно-бытовых сточных малых производительностей, отвечающих современным требованиям экологической безопасности [1]. Такая ситуация сложилась в первую очередь из-за недостатка финансирования природоохранных мероприятий при значительной стоимости реконструкции существующих станций очистки сточных вод и строительства новых. Отсюда вытекает необходимость разработки и внедрения современных экономически и технологически эффективных технологий очистки сточных вод. Особенно это касается станций малой производительности, поскольку именно они являются наиболее проблемным участком не только в отечественной, но и в мировой практике очистки сточных вод [2].

Существующие методы химической и биологической очистки не всегда позволяют достигнуть необходимого качества очищаемых сточных вод. В настоящее время огромное внимание уделяется биомембранным технологиям для очистки бытовых сточных вод. Использование биомембранного метода очистки позволяет достигнуть высокого качества очистки сточных вод по взвешенным веществам, азоту аммонийному, БПК и ХПК. Но наряду с преимуществами очистки на биомембранных реакторах этот метод имеет ряд недостатков: значительные капитальные затраты из-за высокой стоимости мембран, затраты электроэнергии на преодоление градиента давления при регенерации. Но с появлением микрофильтрационных мембран нового поколения есть необходимость в поиске альтернативных материалов для использования в биомембранных технологиях очистки сточных вод в Украине.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является определение технологических параметров фильтрации и регенерации синтетических тканевых материалов, применяемых в качестве микромембран для доочистки биологически очищенных сточных вод.

Место синтетических микромембран в системах биологической очистки сточных вод

Современные методы очистки сточных вод для станций малой производительности включают в себя компактные биореакторы, позволяющие протекать процессам биологического изъятия органических примесей и биогенных элементов в условиях изменяющейся концентрации кислорода [3, 4].

© А. В. Жибоедов, 2013

Технологии, подобные приведенным в [3] – биореакторы с эрлифтной системой аэрации (за рубежом также известные как «gas-loop reactors» [5]) представляют из себя полный цикл биологической очистки, который позволяет с высокой эффективностью удалять из сточной жидкости соединения азота и органические вещества в компактных сооружениях.

Наряду с очевидными преимуществами данной технологии ей также присущи некоторые недостатки, а именно: в сооружении создается высокая турбулизация потока, которая положительно влияет на массообменные процессы в системе активного ила, но именно за счет такой гидродинамики потока в сооружении может наблюдаться вынос взвешенных веществ из него. То есть биореакторы с затопленной эрлифтной системой аэрации обеспечивают глубокую степень очистки по растворенным примесям и нуждаются в последующей доочистке сточных вод именно по взвешенным веществам.

Собственные исследования показали, что вынос взвешенных веществ из аэротенка-отстойника с эрлифтной системой аэрации колеблется в пределах 15–25 мг/л.

Для доочистки сточных вод по взвешенным веществам могут применяться следующие методы: фильтрование через сетчатые перегородки или зернистые загрузки; доочистка в биопрудах и на био-плато; реагентная очистка с последующим осветлением сточных вод в отстойниках, осветлителях, фильтрах с зернистой загрузкой; сорбция загрязнений на активированном угле; ультрафильтрация и микрофильтрация.

Детальный анализ приведенных методов показал, что, с точки зрения доочистки сточных вод исключительно от взвешенных веществ, наиболее рациональным является метод микромембранного фильтрования. При этом не обеспечивается полное изъятие микроорганизмов и сточная жидкость после доочистки все еще нуждается в обеззараживании, однако хлопья активного ила позволяют снизить концентрацию взвешенных веществ в фильтрате до допустимых пределов.

Особенностью работы сооружений микромембранной фильтрации в условиях доочистки сточных вод на биореакторах с эрлифтной системой аэрации являются низкие концентрации поступающих на мембрану загрязнений. Именно этот факт отличает предлагаемый и исследуемый метод доочистки от известных и приобретающих в настоящее время широкое распространение «мембранных биореакторов».

В отличие от микромембран в биореакторах синтетические тканевые материалы в системах доочистки сточных вод могут работать на более высоких гидравлических нагрузках, что позволит значительно снизить площадь сооружений в соответствии с задачами, стоящими перед компактными очистными станциями малой производительности.

В соответствии с вышеизложенным, актуальным является определение параметров работы (фильтрования и регенерации) синтетических тканевых мембран в системах доочистки сточных вод после сооружений биологической очистки в реакторах эрлифтного типа.

Описание установки

Для выявления основных закономерностей процесса фильтрования и регенерации фильтров доочистки из синтетических тканевых материалов сконструирована полупромышленная установка (рис. 1), защищенная впоследствии Патентом Украины [6].

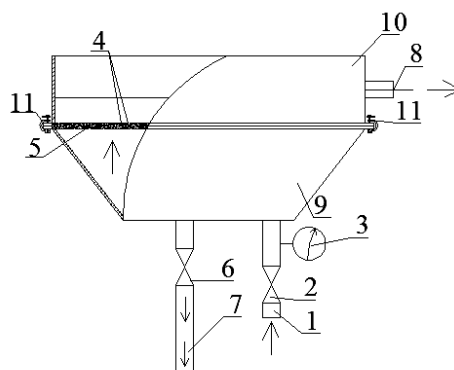


Рисунок 1 – Схема установки доочистки сточных вод от взвешенных веществ: 1 – подающий трубопровод; 2 – запорная арматура; 3 – манометр; 4 – жесткий каркас фильтрующего элемента; 5 – фильтрующий элемент; 6 – запорная арматура; 7 – трубопровод вакуумной регенерационной системы; 8 – патрубок очищенной воды; 9 – корпус; 10 – крышка; 11 – быстросъемное соединение.

Устройство работает следующим образом. Загрязненная жидкость по напорному подающему патрубку 1 подается в корпус 9, в котором расположен гибкий фильтрующий элемент 5, который установлен между двумя жесткими каркасами 4 и стягивается быстросъемными соединениями 11. Фильтрация осуществляется снизу-вверх, осадок накапливается в корпусе 9 и на нижней поверхности фильтрующего элемента 5. Проходя через фильтрующий элемент 5, жидкость очищается от взвешенных частиц и поступает в верхнюю крышку 10 и через патрубок очищенной воды 8 отводится от фильтра. Время регенерации наступает после достижения критического сопротивления на фильтрующем элементе и определяется по манометру 3.

После прекращения процесса фильтрации через фильтрующий элемент 5 производится его регенерация, перекрывается запорная арматура 2, а открывается запорная арматура 6 и по регенерационному трубопроводу 12 с помощью вакуумной системы 7 отводятся накопления взвешенных веществ из фильтра.

В качестве фильтрующего материала в данном аппарате использовано иглопробивное полотно из лавсана [7].

Параметры процесса фильтрации через иглопробивное полотно

Для определения основных параметров процесса фильтрации проведен полный факторный эксперимент, основной зависимостью которого являлась функция:

$$q = f(H; \tau; C), \quad (1)$$

где H – напор на фильтрующем элементе [м],
 τ – продолжительность фильтроцикла [мин],
 C – исходная концентрация [г/м³],
 q – гидравлическая нагрузка [м/ч].

В ходе экспериментов влияющие параметры варьировались в следующих пределах: напор на фильтрующей перегородке – 1...4 м.вод.ст., концентрация взвешенных веществ, поступающих на фильтр – 10...50 мг/л, продолжительность фильтроцикла – 5...10 мин.

В результате статистической обработки результатов экспериментов получено уравнение регрессии зависимости (1) (рис. 2):

$$V = e^{-0,037C + 0,25H - 1,57\tau + 6,4}. \quad (2)$$

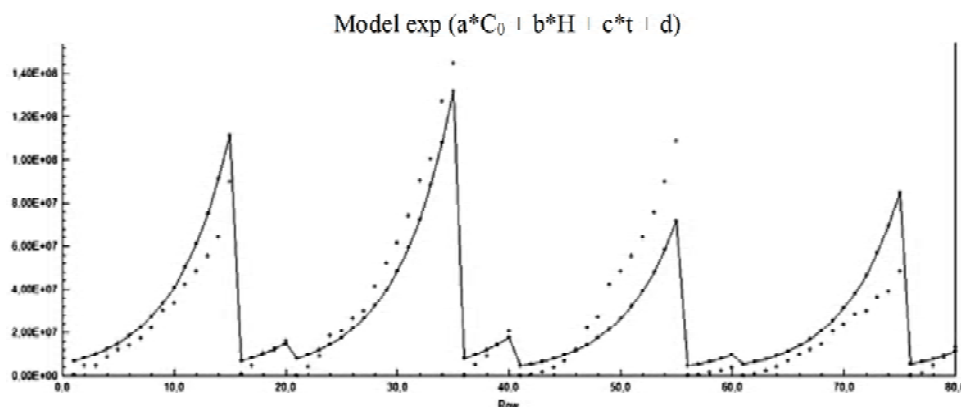


Рисунок 2 – Графическое отображение аппроксимации зависимости $q = f(H; \tau; C)$.

Статистическая обработка результатов экспериментов показала достоверность полученной зависимости с коэффициентом корреляции 84 %.

Поскольку гидравлическая нагрузка на микромембрану изменяется в течение фильтроцикла, данную характеристику рационально представить в форме интегральной скорости фильтрации V_{cc} .

Интегрируя выражение (2) по $d\tau$ методом подстановки, получаем формулу определения интегральной скорости фильтрации:

$$V_{cc} = \frac{1}{1,57T} (e^j - e^{j-1,57T}); \quad (3)$$

$$j = 6,4 - 0,037C + 0,25H; \quad (4)$$

T – продолжительность фильтроцикла [мин];

C – исходная концентрация [мг/дм³];

H – напор на фильтрующем элементе [м].

На основании полученного уравнения (3) графически можно представить зависимость интегральной скорости фильтрования от напора на фильтрующем элементе и концентрации взвешенных веществ в исходной жидкости, которую рекомендуется использовать при расчете сооружений по доочистке биологически очищенных сточных вод (рис. 3).

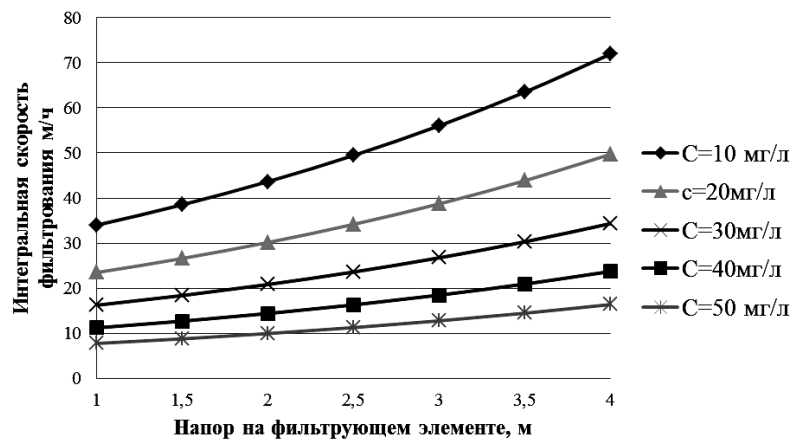


Рисунок 3 – Изменение интегральной скорости фильтрования в зависимости от напора и концентрации взвешенных веществ в исходной жидкости при продолжительности фильтроцикла 10 минут.

Приведенными данными следует руководствоваться при расчете и подборе фильтрующего элемента из синтетического нетканого иглопробивного полотна, работающего на доочистке сточных вод от взвешенных веществ.

Параметры регенерации иглопробивного полотна

Вакуумный метод регенерации выбран на основании предварительных исследований восстановления фильтрующей способности синтетических нетканых элементов [8]. В качестве исследуемых параметров определены:

Φ – эффективность регенерации, %;

$\tau_{\text{пром}}$ – время промывки [с];

h – напор над фильтрующей загрузкой [см];

$P_{\text{вак}}$ – вакуумметрическое давление при регенерации [Па].

В ходе исследования определено, что решающее влияние на эффективность промывки оказывает вакуумметрическое давление при регенерации. Напор над фильтрующей загрузкой влияния на эффективность регенерации не оказывает, основным условием в данном случае является сам факт наличия некоторого слоя воды над фильтрующим элементом.

Продолжительность промывки аналогично должна обеспечивать лишь проход слоя воды через фильтрующую загрузку обратным током. Дальнейшее увеличение продолжительности регенерации никаких изменений в параметры промывки не вносит.

Величина вакуумметрического давления является определяющим фактором, который напрямую влияет на скорость прохождения жидкости через перегородку и зависит от гидродинамических параметров системы регенерации.

ВЫВОДЫ

Синтетические микромембраны можно использовать для доочистки от взвешенных веществ биологически очищенных сточных вод после биореакторов с затопленной эрлифтной системой аэрации.

В этом случае микромембраны работают на низких нагрузках по взвешенным веществам, что позволяет увеличить гидравлическую нагрузку. Получены экспериментальные зависимости для расчета микромембран из синтетического иглопробивного полотна, предложен способ регенерации таких мембран.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році [Текст] / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К. : МРРБЖКГ, 2013. – 450 с.
2. Шумаков, Ф. Т. Космический мониторинг евтрофирования водных ресурсов Украины [Текст] / Ф. Т. Шумаков // Коммунальное хозяйство городов : научно-технический сборник. – К. : КХГ, 2007. – № 79. – С. 217–231.
3. Нездойминов, В. І. Одномулова нітрифікація – денітрифікація в біологічних реакторах с затопленою ерліфтною системою аерації [Текст] : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук / В. І. Нездойминов. – М. : ДонНАБА, 2013. – 40 с.
4. Шаповал, О. Є. Компактні очисні споруди в практиці очищення стічних вод [Текст] / О. Є. Шаповал, В. В. Кравець, А. О. Дичко // Реконструкція житла : Збірник наукових праць. – К. : НДІпроектреконструкція, 2005. – Випуск 6. – С. 352–361.
5. Simultaneous nitrification-denitrification achieved by an innovative internal-loop airlift MBR: Comparative study [Текст] / Y. Z. Li, Y. L. He, D. G. Ohandja, J. Ji, J. F. Li, T. Zhou // Bioresource Technology. – 2008. – 99. – P. 5867–5872.
6. Пат. 81335 Україна, МПК B01D 29/11. Тканинний фільтр [Текст] / В. І. Нездойминов, О. В. Жибоедов, В. М. Усенко ; власники В. І. Нездойминов, О. В. Жибоедов, В. М. Усенко. – № u 2013 00626 ; заявл. 18.01.2013 ; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. – 4 с.
7. Жибоедов, А. В. Применение тканевых материалов в доочистке бытовых сточных вод. [Текст] / А. В. Жибоедов, В. И. Нездойминов, В. С. Рожков // Науковий вісник будівництва ХДТУБА. – Х. : ХОТВ АБУ, 2010. – № 57. – С. 336–340.
8. Жибоедов, А. В. Применение синтетических тканевых материалов в доочистке бытовых сточных вод [Текст] / А. В. Жибоедов // Збірник тез доповідей III міжнарод. конф. «Науково-технічне та організаційно-економічне сприяння реформам у будівництві і житлово-комунальному господарстві. Ч. 1 / Мін. освіти і науки, молоді та спорту [та інш.]. – М.: Київ, 2012. – С. 64–66.

Получено 26.09.2013

О. В. ЖИБОЕДОВ

**ПАРАМЕТРИ ФІЛЬТРУВАННЯ ТА РЕГЕНЕРАЦІЇ СИНТЕТИЧНИХ
ТКАНИННИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЇХ РОБОТІ В СИСТЕМАХ
БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглянуті питання параметрів фільтрування та регенерації нетканних мікромембран. Визначена область застосування цих матеріалів, наведена конструкція установки для видалення зважених речовин з біологічно очищених стічних вод. Наведені результати експериментів з визначення параметрів роботи споруд доочищення стічних вод від зважених речовин. Отримано залежність для інтегральної швидкості фільтрування. Виявлено основні фактори, що впливають на ефективність регенерації синтетичних нетканних мікромембран.

доочищення стічних вод, фільтрування, вакуумна регенерація

ALEXANDR ZHI BOEDOV

**FILTERING AND REGENERATION OPTIONS OF SYNTHETIC TISSUE
MATERIALS FOR THEIR WORK IN SYSTEMS SEWAGE TREATMENT PLANTS**
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper deals with the parameters of nonwoven micro membrane filtration and regeneration. An area of these materials application, a construction of plants for the removal of suspended solids from biologically treated wastewater is defined. The results of experiments for determination parameters of the plant

purification of waste water from suspended solids are shown. An expression for the integrated filtration rate and the main factors affecting the efficiency of the regeneration of non-woven synthetic micro membrane are defined.

tertiary treatment, filtration, vacuum regeneration

Жибоедов Олександр Вікторович – аспірант, асистент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: застосування синтетичних тканинних матеріалів в очищенні побутових стічних вод.

Жибоедов Александр Викторович – аспирант, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: применение синтетических тканевых материалов в очистке бытовых сточных вод.

Zhiboedov Alexandr – a post-graduate student, assistant, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of synthetic fabric materials for wastewater treatment.

УДК 628.35

В. В. МАРКИН

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Рассмотрены возможности повышения эффективности биологической очистки сточных вод на канализационных очистных сооружениях. В технологических схемах с аэротенками предлагается обустроить аноксидные зоны для денитрификации, в схемах с биофильтрами – переоборудовать двухъярусные отстойники в аэротенки-отстойники.

очистка, сточные воды, аэротенк, биофильтр, нитрификация, денитрификация, двухъярусный отстойник

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая очистка сточных вод (СВ) является самой важной ступенью очистки, без удовлетворительного функционирования которой стоки можно назвать неочищенными, и при этом наиболее сложной, так как она осуществляется биоценозом бактерий и простейших организмов, которые в процессе своей жизнедеятельности в аэробных условиях окисляют коллоидные и растворенные органические вещества (определяемые по биологическому потреблению кислорода (БПК)), находящиеся в СВ, а также соединения азота и фосфора. Для активной жизнедеятельности микроорганизмов необходимо поддерживать оптимальные условия среды обитания. Эффективность биологической очистки по БПК и содержанию аммонийного азота должна составлять не менее 93–95 % [1].

В настоящее время на отечественных канализационных очистных сооружениях (КОС) существует ряд проблем, связанных с биологической очисткой, которые не позволяют очищать стоки с требуемой эффективностью. **Цель** данной работы – исследовать основные из этих проблем и определить пути их решения.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Биологическую очистку сточных вод от углеродных загрязнений осуществляют гетеротрофные бактерии, для которых возможны два пути переработки субстрата: в присутствии растворенного кислорода (аэробный) и при его отсутствии (анаэробный). На практике за основу взят аэробный способ окисления загрязнений.

При окислении субстрата бактерии получают энергию, необходимую для своей жизнедеятельности (при этом сложное органическое вещество $C_xH_yO_zN$ разлагается до простых компонентов CO_2 , H_2O , NH_4) и синтезируют собственное клеточное вещество – $C_5H_7NO_2$ [2]. Расход кислорода на эти биохимические превращения соответствует БПК_{полн} стоков. Далее при дефиците органического вещества, когда внешний источник питания исчерпан, происходит самоокисление бактериальных клеток. Все реакции протекают под воздействием ферментов, выделяемых микроорганизмами.

На конечной стадии происходит процесс нитрификации: сначала азот аммонийный окисляется до нитритов, далее нитриты окисляются до нитратов. Нитрифицирующие микроорганизмы, осуществляющие этот процесс, – хемосинтезирующие автотрофы, источником углерода для них является углекислый газ, для ассимиляции которого они используют энергию, полученную от окисления аммонийного азота и нитритов. Присутствие органических соединений в сточной воде пагубно воздействует на развитие и активность нитрификаторов. Поэтому процесс нитрификации аммонийного азота начинается только после практически полного окисления углеродсодержащих соединений (БПК) [3]. Связано это с тем, что автотрофы-нитрификаторы проигрывают борьбу за кислород гетеротрофным микроорганизмам, окисляющим органические вещества.

© В. В. Маркин, 2013

Биологическая очистка СВ осуществляется, как правило, либо в биореакторах со взвешенной (свободной) биомассой – аэротенках, либо в сооружениях с прикрепленными на слоях загрузки микроорганизмами – биофильтрах, аэрофильтрах.

В аэротенках биобактериальная масса пребывает в виде отдельных хлопьев – зооглейных скоплений бактерий и простейших микроорганизмов, называемых активным илом. Аэротенк представляет собой прямоугольное в плане сооружение, разделенное на несколько коридоров (от 2 до 4), через которые сточная жидкость протекает в процессе очистки. В аэротенк постоянно подается сжатый воздух системой аэрации, распределенной по всей длине коридоров, и обеспечивающей равномерное перемешивание иловой смеси и насыщение ее кислородом.

Биологический фильтр – сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов. Аэрация загрузки с биопленкой – естественная. В качестве загрузки выступают щебень, гравий и керамзит крупностью 25–40 мм. Высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры) отличаются большей высотой слоя загрузки, большей крупностью загрузки и искусственной аэрацией, которая осуществляется вентиляторами [4].

В таблице приведен список некоторых КОС Донецкой области с указанием сооружений биологической очистки СВ, а также проектные и фактические производительности очистных станций.

Таблица – Сведения о сооружениях биологической очистки на КОС Донецкой области

№ п/п	Наименование КОС	Год ввода в экс-ию	Производительность, тыс. м³/сут		Сооружения биологической очистки	
			Проект.	Фактич.	С использованием свободной биомассы	С фиксированными культурами
1	г. Амвросиевка	1976	11,00	0,64	Аэротенки	
2	г. Часов-Яр	1960	5,50	1,20		Аэрофильтры
3	п. Владимировка	1978	3,60	0,60		Аэрофильтры
4	п. Новотроицкое	1971	3,00	0,70		Биофильтры
5	г. Горловка	1972	92,20	25,94	Аэротенки	
6	пгт. Гольма	1980	2,80	0,83		Биофильтры
7	г. Дебальцево	1981	10,00	2,64	Аэротенки	
8	г. Дзержинск	1988	20,00	3,60	Аэротенки	
9	г. Димитров	1969	41,00	19,60	Аэротенки	
10	г. Доброполье	1983	11,20	2,45	Аэротенк	
11	г. Белицкое	1971	5,80	1,07		Аэрофильтры
12	пгт. Водянское	1967	0,80	0,09		Биофильтры
13	п. Новодонецкое	1960	2,70	0,52		Биофильтры
14	г. Дружковка	1971	29,70	3,94	Аэротенки	
15	г. Енакиево	1989	56,00	8,15	Аэротенки	
16	г. Кировское	1979	28,80	6,90	Аэротенки	
17	г. Константиновка	1978	40,00	8,70	Аэротенки	
18	г. Селидово	1989	23,00	4,10	Аэротенки	
19	г. Снежное	1975	16,70	4,98		Аэрофильтры
20	г. Торез	1975	32,00	3,24	Аэротенки	
21	п. ш-ты «Волынская»	1973	0,70	0,04		Биофильтры
22	г. Шахтерск	1978	20,00	3,00	Аэротенки	
23	п. Верхняя Андреевка	1957	0,10	0,06		Биофильтр
24	п. Донецкое	1963	0,20	0,07		Биофильтр
25	г. Макеевка	1972	90,00	30,90	Аэротенки	
26	п. Нижняя Крынка	1962	4,20	1,90		Биофильтры

Анализ таблицы показывает, что в Донецкой области на очистных сооружениях малой производительности – от 0,1 до 4,2 и от 3,6 до 16,7 тыс. м³/сут в качестве сооружений биологической очистки используются биофильтры и аэрофильтры соответственно, а для больших мощностей до 92 тыс. м³/сут были предусмотрены аэротенки.

При расчете аэротенков время аэрации СВ определялось согласно СНиП 2.04.03-85 [5] по формуле, учитывающей необходимое снижение БПК в стоках (мг БПК/л), концентрацию сухого вещества активного ила (г/л) и окислительную способность активного ила (мг БПК/г·час). То есть аэротенки рассчитывались на очистку стоков от органических веществ, при этом время необходимое для полного

окисления аммонийного азота (NH_4) не учитывалось. В отечественной нормативно-технической документации и сейчас отсутствуют зависимости, позволяющие рассчитать снижение аммонийного азота до заданного значения. В то же время правилами охраны поверхностных вод установлена предельно допустимая концентрация (ПДК) NH_4 для сброса очищенных СВ в водные объекты – не более 2 мг/л [6].

Как было отмечено ранее, процесс нитрификации начинается после очистки СВ от органических веществ, что требует более продолжительного времени пребывания стоков в контакте с активным илом. Для удовлетворительной нитрификации необходимы низкие нагрузки на активный ил и большой возраст ила, который позволяет сохранить необходимую численность нитрифицирующих микроорганизмов в системе. Поддержание возраста ила свыше 8 суток позволяет полностью восполнять потери нитрифицирующих бактерий [7]. В источнике [8] указывается, что возраст аэрированного ила, необходимого для проведения процесса нитрификации, зависит от температуры иловой смеси. Например, при температуре 12 °С необходимый возраст ила составляет 8 сут. В этом же источнике отмечено, что нитрификация осуществляется при низких нагрузках на ил – 100–200 мг БПК/г-сут и очень низких – не более 100 мг БПК/г-сут. Согласно [10] при средних нагрузках на ил – 400–500 мг БПК/г-сут нитрификация отсутствует, а при низких – 100–150 мг БПК/г-сут протекает особенно интенсивно.

Можно сделать вывод, что для полноценной очистки стоков от аммонийного азота аэротенк должен работать в режиме продленной аэрации. Опыт эксплуатации очистных сооружений Донецкой области показывает, что концентрация NH_4 снижается до 2 мг/л при времени аэрации не менее 14–16 часов.

Несмотря на то, что аэротенки, построенные в 70-х, 80-х годах, были рассчитаны лишь на очистку сточных вод от органических загрязнений (время аэрации 5–6 часов, нагрузки на ил 400–500 мг БПК/г-сут), в настоящее время большая часть из них может работать в режиме продленной аэрации, обеспечивая глубокую нитрификацию СВ. Связано это с тем, что КОС нагружены лишь на 20–30 % (таблица).

Однако при этом возникает проблема высокого содержания нитратов в очищенных СВ, которое также лимитируется и должно составлять не более 60 мг/л. На тех КОС, где осуществляется процесс глубокой нитрификации (концентрация NH_4 снижается до 2 мг/л), содержание нитратов в очищенной воде, как правило, превышает установленную норму, а в некоторых случаях достигает до 120–140 мг/л (например, КОС гг. Енакиево, Углегорск, Новоазовск). Причина этому – высокие концентрации NH_4 в исходной сточной воде, которые за последние годы значительно увеличились и обусловлены снижением потребления воды населением.

Проблему денитрификации можно решить, отведя часть объема аэротенка под зону денитрификации. Учитывая недогруженность аэротенков, такая возможность существует. В мировой практике разработано большое количество различных комбинаций зон денитрификации и нитрификации в биореакторах для очистки СВ от соединений азота. Базовыми являются устройства зоны денитрификации в начале аэротенка и в конце.

Денитрификация происходит в условиях недостатка растворенного кислорода и присутствия нитратов (аноксидная зона). В условиях аноксии гетеротрофные микроорганизмы окисляют органическое вещество, используя O_2 , связанный в нитратах, при этом выделяется атомарный азот N_2 (реакция 1).



Так как для осуществления денитрификации требуется дефицит O_2 , перемешивание смеси невозможно производить подачей сжатого воздуха, чаще всего для этого используют механические мешалки.

Если зона денитрификации устанавливается в начале аэротенка, необходимо обеспечить рециркуляцию иловой смеси из конца последнего коридора, где накоплено большое количество нитратов, в зону денитрификации, чтобы обеспечить контакт нитратов и легкоокисляемой органики (рисунок, а). По данным [9] необходимая степень внутренней рециркуляции может достигать 150–350 % от объема исходной СВ, что предопределяет установку мощных насосов или эрлифтов и ведет к значительным затратам электроэнергии.

Вторая базовая схема – устройство зоны денитрификации в конце аэротенка (рисунок, б). В этом случае, требуется подавать часть СВ в аноксидную зону для обеспечения ее легкоокисляемой органикой. Если содержание органических веществ в СВ недостаточно для осуществления денитрификации, добавляют внешний источник экзогенного углерода, которым могут быть метанол, этанол, уксусная кислота.

Реконструкция существующих аэротенков, работающих на полное окисление органических веществ и аммонийного азота, с обустройством зон денитрификации позволит очищать СВ не только

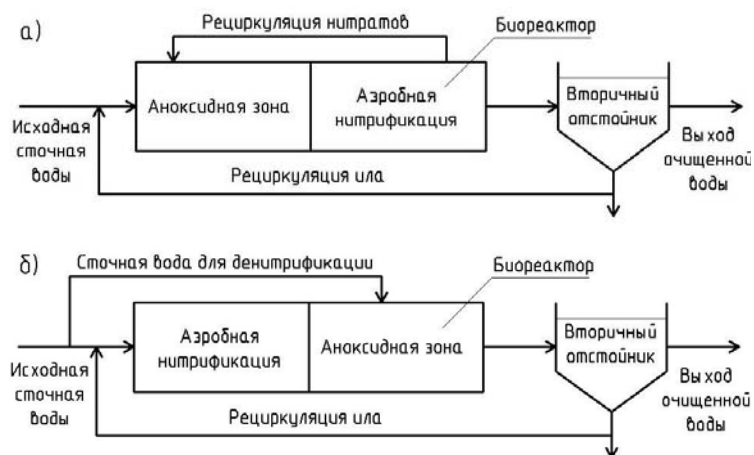


Рисунок – Базовые схемы денитрификации: а) с предшествующей аноксией; б) с последующей аноксией.

от органических веществ, но и комплексно от соединений группы азота (аммонийного азота, нитритов, нитратов), что улучшит экологическую обстановку в регионе и в стране в целом.

При очистке СВ на биофильтрах и аэрофильтрах говорить о какой-либо нитрификации-денитрификации вообще не приходится. Во-первых, при проектировании эти сооружения также рассчитывались только на очистку от органических загрязнений (БПК), их способность окислять аммонийный азот не учитывалась. Как следствие, даже после первого запуска и наладки на биофильтрах невозможно было получить очищенную от NH_4 до заданной нормы сточную воду. Во-вторых, в процессе эксплуатации загрузка биофильтров быстро заиливается, из-за чего стоки не распределяются равномерно по поверхности и далее по телу загрузки, а просачиваются через незаиленные участки, что ведет к снижению времени пребывания СВ в биофильтре и эффекта очистки.

В настоящее время биологические фильтры с щебеночной и гравийной загрузкой являются устаревшей технологией и при новом строительстве не применяются, уступая место биофильтрам с пластиковыми нагрузками, которые имеют более высокий индекс пустот (70–95 %) по сравнению с традиционными (50–60 %) и соответственно более низкую заиляемость [9]. Однако даже биофильтры с пластиковой загрузкой не могут обеспечить очистку СВ по БПК и полную нитрификацию одновременно, поэтому они применяются в двухступенчатых и трехступенчатых технологических схемах (два, три биофильтра включены последовательно, либо биофильтр и аэротенк).

Большая часть биофильтров, приведенных в таблице, не работает. Оставшиеся работают, но не обеспечивают биологическую очистку СВ до нормативных показателей (особенно по БПК и NH_4). Использование рециркуляции, когда часть очищенных стоков после вторичного отстаивания подается перед биофильтрами, частично улучшает эффект очистки (снижается содержание взвешенных веществ и БПК) и уменьшает скорость заиливания загрузки, но кардинально ситуацию не меняет.

Решить проблему биологической очистки СВ на КОС с биофильтрами и аэрофильтрами можно с помощью реконструкции первичных, либо вторичных отстойников в биореакторы. В технологических схемах с применением биофильтров для первичного отстаивания использовали, как правило, двухъярусные отстойники (эмшеры), для вторичного – вертикальные отстойники. Двухъярусные отстойники более привлекательны для переоборудования под биореакторы, так как их объем больше, чем вертикальных отстойников за счет септической части, которая рассчитана на сбраживание осадка в течение 10–15 суток. Септическую часть отстойника можно переоборудовать в зону аэрации, а осадочные желоба использовать как вторичные отстойники. Таким образом, из двухъярусного отстойника получится аэротенк-отстойник. В этом случае биофильтры из технологической схемы очистки выключаются, а вторичные отстойники целесообразно задействовать в качестве контактных резервуаров. При правильном расчете аэротенков-отстойников на выходе можно будет получать биологически полностью очищенную сточную воду.

ВЫВОДЫ

Для улучшения экологической ситуации в стране и предотвращения попадания неочищенных СВ в окружающую природную среду требуется реконструкция существующих станций биологической очистки. В технологических схемах с аэротенками необходимо обеспечить возможность проведения не только нитрификации, но и денитрификации (для полной очистки СВ от соединений азота), для чего следует обустроить в аэротенках аноксидные зоны.

В схемах с биофильтрами, которые являются сооружениями устаревшей технологии, полную биологическую очистку можно осуществлять в двухъярусных отстойниках, переоборудованных предварительно в аэротенки-отстойники. Сами биофильтры при этом следует исключить из работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с. – ISBN 5-93093-119-4.
2. Канализация [Текст] / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. – М. : Стройиздат, 1975. – 632 с.
3. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с. – ISBN 5-901652-05-3.
4. Гудков, А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод [Текст] / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2002. – 127 с. – ISBN 5-87851-174-6.
5. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст]. – Взамен СНиП II-32-74 ; введ. 1986-01-01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
6. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [Текст] : Затв. Постановою КМУ від 25.03.1999 р. № 465. – Київ : Урядовий портал, 1999. – 5 с.
7. Хаммер, М. Дж. Технология обработки природных и сточных вод [Текст] / М. Дж. Хаммер; пер. с англ. под ред. Т. А. Карюхиной. – М. : Стройиздат, 1979. – 400 с.
8. Degremont. Технический справочник по обработке воды [Текст]. В 2 т. Т. 1 : пер. с фр. / под ред. М. И. Алексеева. – СПб. : Новый журнал, 2007. – 775 с. – ISBN 5-901336-05-4.
9. Degremont. Технический справочник по обработке воды [Текст]. D 2 т. Т. 2 : пер. с фр. / под ред. М. И. Алексеева. – СПб. : Новый журнал, 2007. – 921 с. – ISBN 5-901336-05-4.
10. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации [Текст] / Гл. упр. водопроводно-канализац. хоз-ва. – М. : Стройиздат, 1979. – 299 с.

Получено 23.09.2013

В. В. МАРКІН МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто можливості підвищення ефективності біологічної очистки стічних вод на каналізаційних очисних спорудах. У технологічних схемах з аеротенками пропонується облаштувати аноксидні зони для денітрифікації, у схемах із біофільтрами – переобладнати двох'ярусні відстійники в аеротенки-відстійники.

очищення, стічні води, аеротенк, біофільтр, нитрифікація, денітрифікація, двох'ярусний відстійник

VYACHESLAV MARKIN POSSIBILITIES OF INCREASING OF EFFICIENCY OF THE BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Possibilities of increasing of efficiency of the biological wastewater treatment in wastewater treatment plants have been considered. In flowsheets with aeration tanks to equip anoxia zone for denitrification is proposed and to convert two-tier settlers in aeration tanks-settlers is proposed in flowsheets with biofilters.

treatment, waste water, aeration tank, biofilter, nitrification, denitrification, two-tier settler

Маркін В'ячеслав Володимирович – магістр; інженер-технолог КП «Компанія "Вода Донбасу"». Наукові інтереси: очистка стічних вод, обробка і утилізація осадів побутових стічних вод.

Маркин Вячеслав Владимирович – магистр; инженер-технолог КП «Компания "Вода Донбасса"». Научные интересы: очистка сточных вод, обработка и утилизация осадков бытовых сточных вод.

Markin Vyacheslav – MPhil; a process engineer of CE «The Donbas Water Company». Scientific interests: waste water treatment, sewage sludge processing and utilization.

УДК 628.1

А. А. НАЙМАНОВА

Коммунальное предприятие «Компания "Вода Донбасса"»

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Данная статья поднимает вопросы питьевого водоснабжения Донецкой области из подземных источников. Высокое солесодержание исходной воды требует дополнительной очистки, а небольшая производительность значительно увеличивает её себестоимость. Проблему усугубляет несоответствие законодательных и нормативных актов в сфере питьевой воды, питьевого водоснабжения и разрешительной системы.

подземные источники питьевой воды, централизованное водоснабжение, минерализация, отклонения от требований к питьевой воде, установки доочистки воды, обратный осмос

Особенность Донецкого региона состоит в том, что из-за скудной гидрографической сети остро ощущается нехватка источников питьевой воды.

Так, из природных поверхностных водоемов только река Северский Донец, расположенная на границе с Харьковской областью, по качеству удовлетворяет требованиям ДСТУ 4808:2007 «Источники централизованного питьевого водоснабжения. Гигиенические и экологические требования к качеству воды и правила выбора» [1] и может быть использована для питьевого водоснабжения. Положение спасает канал Северский Донец-Донбасс, специально построенный в середине XX века для переброски воды из р. Северский Донец в северную и центральную части Донецкой области на расстояние более 130 км.

Наиболее страдает от отсутствия качественной питьевой воды южная часть региона и побережье Азовского моря, где вода добывается исключительно из подземных источников. Она здесь сильно минерализованная, содержание солей достигает 3,5 г/л. Как следствие, повышено содержание сульфатов и хлоридов до 1,7 и 1,1 г/л, соответственно. Порядка 150 тыс. жителей Донецкой области, проживающие более чем в 90 населенных пунктах, вынуждены использовать для питья воду с отклонениями качества от нормативных требований.

В настоящее время эксплуатация подземных источников питьевого водоснабжения с отклонениями качества от требований нормативного документа регламентируется статьей 23 Закона Украины «О питьевой воде и питьевом водоснабжении» [2] и осуществляется по разрешению центрального органа исполнительной власти в сфере стандартизации, выданного на основании заключения центрального органа исполнительной власти по вопросам государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

С июля 2010 г. в связи с приостановлением действия ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством» в части 1 «Гигиенические требования» вопросы выдачи временных разрешений на реализацию питьевой воды с отклонениями от требований нормативного документа не рассматриваются.

Причиной служит тот факт, что введенный в действие ГосСанПиН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» не является государственным стандартом, вследствие чего им не может руководствоваться центральный орган исполнительной власти в сфере стандартизации – Госпотребстандарт Украины. Кроме того, Госпотребстандарт за это время был реорганизован в Госпотребинспекцию с изменением своих полномочий.

В свою очередь, Министерство здравоохранения ввело временный запрет на проведение ведомственными профильными институтами санитарно-эпидемиологической экспертизы подземных источников воды о возможности использования их для питьевого водоснабжения. Таким образом, предприятия водопроводно-канализационного хозяйства лишены возможности дальнейшего получения соответствующего заключения МОЗ Украины.

Министерство регионального развития и жилищно-коммунального хозяйства Украины провело по этому вопросу в январе 2013 г. совещание при участии Госсанэпидслужбы Украины и ГУ «Институт гигиены и медицинской экологии им. Марзеева». В результате последним было поручено доработать разработанный Минрегионом законопроект о дополнениях Закона Украины «О питьевой воде и питьевом водоснабжении» нормой относительно процедуры получения разрешения на подачу воды с отклонениями качества от нормативного документа.

Кроме того, 2005 году был принят Закон Украины «О разрешительной системе в сфере хозяйственной деятельности» [3], согласно которому (ст. 4) порядок получения временного разрешения на отклонение качества питьевой воды от нормативных требований и связанных с ним целым рядом организационных вопросов должен быть определен законом.

В конечном итоге ответственность за несовершенную процедуру реформирования как нормативов в сфере питьевой воды и питьевого водоснабжения, так и в сфере управления разрешительной системой перекладывается на предприятия водопроводно-канализационного хозяйства. Учитывая возникшее несоответствие законодательной и исполнительной власти, органы госсанэпиднадзора негласно не обостряют ситуацию, не имея возможности предложить выход из неё.

Современная наука может предложить достаточное количество методов обессоливания воды. Главная сложность ситуации заключается в том, что южная часть Донецкой области изобилует мелкими поселками, имеющими каждый свою скважину в качестве источника водоснабжения. Таким образом, умягчительная установка должна иметь небольшую производительность (иногда до 1 м³/сут) или работать 2–3 часа в сутки, что снижает качество очистки и надежность работы.

В течение 2007–2010 гг. в соответствии с государственной программой более 22 населенных пунктов Донецкой области были оборудованы блоками доочистки питьевой воды методом обратного осмоса в основном в помещениях школьных учреждений. В настоящее время большинство этих установок бездействуют.

Причин несколько. Срок службы обратноосмотических мембран в условиях такой высокой минерализованности воды уменьшается как минимум в два раза, возрастает частота необходимых промывок, перегрузки системы предочистки, дозы антискаланта. Вследствие описанных сложностей частного случая эксплуатации установок обессоливания воды необходимо их обслуживание квалифицированным персоналом.

Кроме перечисленных особенностей эксплуатации в технологическом плане, возникает необходимость постоянных существенных финансовых вложений для поддержания установки в надлежащем рабочем состоянии. Учитывая, что программой были охвачены в основном небольшие населенные пункты, их бюджет не в состоянии взять на себя финансовое обеспечение эксплуатационных затрат таких установок.

Себестоимость очистки воды из подземных источников до качества питьевой, например методом обратного осмоса, для таких малых населенных пунктов достигает 100 грн./м³ с учетом разбавления исходной водой на треть, частичной обработкой рассола без его утилизации (табл.). Безусловно, что подавать такую дорогую воду в распределительную сеть населенного пункта – это расточительство.

Отдельно встает вопрос обработки и утилизации рассола, стоимость которых в отдельных случаях в несколько раз превышает стоимость очистки воды до качества питьевой. К тому же для дальнейшей утилизации полученных солевых соединений в Донецком регионе нет ни специализированных соответствующих полигонов, ни заводов по их брикетированию в бетонные блоки.

Выходом было бы строительство водовода от ближайшей точки возможного подключения к источнику питьевого водоснабжения с качественной водой. Однако учитывая, что возможная протяженность может составить 50–100 км, финансирование таких крупных мероприятий может быть под силу исключительно государственному бюджету.

Учитывая малую вероятность осуществления такого масштабного проекта во время экономического кризиса, более реальным выходом из данной ситуации была бы подача в распределительную сеть воды исключительно для хозяйственно-бытовых нужд населения, а для питья обеспечивать очищенной водой высокого качества через стационарные и мобильные пункты розлива.

Таблица – Укрупненная стоимость очистки воды методом обратного осмоса

№ п/п	Производительность ООУ, м³/сут	Строительно-монтажные работы, тыс. грн.	Оборудование, тыс. грн	Проектные работы, тыс. грн	Итого общие затраты, тыс. грн	Себестоимость 1 м³ воды с разбавлением на 1/3, грн
1	1	60	115	25	200	100,8
2	2	60	125	25	200	60,3
3	3	120	112	25	250	45,0
4	5	120	130,5	30	280,5	30,1
5	10	120	160	30	310	17,8
6	20	200	203	30	433	11,3
7	50	190,5	350	30	570	7,9

ВЫВОДЫ

Таким образом, назрел вопрос разработки отдельного государственного стандарта на воду для хозяйственно-бытовых нужд населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. [Текст]. – [Чинний від 1.01.2009]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 42 с. – (Національний стандарт України).
2. О питьевой воде и питьевом водоснабжении [Текст] : Закон Украины № 2918-III от 10.01.2002 года // Урядовий кур'єр. – 2002. – № 91. – С. 15–16. – (Бібліотека офіційних видань).
3. Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності [Текст] : Закон України № 2806-IV від 6.09.2005 // Відомості Верховної Ради України. – 2005. – № 48. – С. 2537–2544.
4. Положення про Державну інспекцію України з питань захисту прав споживачів [Текст] : Затверджено Указом Президента України від 13 квітня 2011 року № 465/2011 : Із змінами, внесеними згідно з Указом Президента № 134/2012 від 22.02.2012 // Офіційний вісник України. – 2011. – № 29. – С. 341–346.
5. Об обеспечении санитарного и эпидемического благополучия населения [Текст] : Закон Украины № 4004-XII от 24.02.1994 года // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 27. – С. 791–815. – (Бібліотека офіційних видань).

Получено 02.10.2013

А. А. НАЙМАНОВА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Комунальне підприємство «КП "Вода Донбасу"»

Дана стаття порушує питання питного водопостачання Донецької області з підземних джерел. Високий вміст солей у вихідній воді потребує додаткового очищення, а невелика продуктивність значно підвищує його собівартість. Питання ускладнює невідповідність законодавчих та нормативних актів у галузі питної води, питного водопостачання та дозвільної системи.

підземні джерела питної води, централізоване водопостачання, мінералізація, відхилення від вимог до питної води, установки доочищення води, зворотний осмос

ASIYAT NAYMANOVA PROBLEMATIC ISSUES OF DRINKING WATER DONETSK REGION

A communal enterprise of «KP is "Water of Donbassa"»

This article raises questions of water-supply of the Donetsk region from underground sources. High mineralization of water requires the additional cleaning, and the small productivity increases its prime price considerably. A problem is aggravated by disparity of legislative and normative acts concerned drinking-water, drinkable water-supply and permission system.

underground sources of drinking-water, centralized water-supply, mineralization, deviations from requirements to the drinking-water, options of additional cleaning of water, reverse osmosis

Найманова Асіят Аубекіровна – начальник служби дозвільних та правоустановлювальних документів комунального підприємства «Компанія "Вода Донбасу"», кандидат технічних наук, доцент. Наукові інтереси: проблеми водопостачання та очищення води.

Найманова Асият Аубекировна – начальник службы разрешительных и правоустанавливающих документов коммунального предприятия «Компания "Вода Донбасса"», кандидат технических наук, доцент. Научные интересы: проблемы водоснабжения и очистки воды.

Naymanova Asiyat – Head of Licensing and Legal Documents of Public Utility «Company "Water of Donbas"», PhD (Eng.), Associate Professor. Scientific interests: problems of water supply and water treatment.

УДК 628.16.087:620.19+628.162.4

С. Е. АНТОНЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ

Рассмотрены теоретические предпосылки эффективности электрохимической водоподготовки. Выделены основные закономерности процесса электролиза, приведена система уравнений, описывающая нестационарный низкотермический перенос ионов бинарного электролита. Приведены формулы, описывающие интенсивность накипеобразования в котлах.

электрохимическая водоподготовка, накипеобразование

На эффективность применения электрохимической водоподготовки для паровых котлов влияют, главным образом, два комплекса факторов:

- эффективность подготовки воды в электрохимическом аппарате;
- эффективность предотвращения накипеобразования в котле при подпитке электрохимически обработанной водой.

Электрохимическая водоподготовка должна обеспечить такое количество подпиточной воды, чтобы накипеобразование на поверхностях нагрева котлов либо полностью отсутствовало, либо было сведено к какому-то допустимому минимуму.

Как уже отмечалось выше, при обработке воды постоянным электрическим током в диафрагменном электролизере протекают два вида электрохимических процессов:

- электролиз, т. е. миграция ионов растворенных солей под действием электрического поля;
- электрохимическое умягчение воды за счет действия продуктов электролиза воды.

Электролиз преобладает в многокамерных диафрагменных аппаратах с малой толщиной камеры. В простых двухкамерных диафрагменных электролизерах могут преобладать процессы электрохимического умягчения.

Теоретическое рассмотрение электролиза в проточных аппаратах при наличии в воде нескольких видов катионов и анионов является весьма сложной задачей. Этому посвящен ряд специфических научных работ [1–5].

Целью данной работы является выделение основных закономерностей электрохимической водоподготовки и процесса накипеобразования в котлах.

Для практических целей достаточно выделить основные закономерности процесса электролиза. В этих целях может быть использована система уравнений, описывающая нестационарный низкотермический перенос ионов бинарного электролита (состоящего из одного вида катионов и одного вида анионов) под действием электрического поля:

- уравнение Нернста-Планка, описывающее поток ионов электролита

$$\bar{j}_i = -\frac{F}{RT} z_i D_i C_i \nabla \varphi - D_i \nabla C_i + C_i \bar{V}; \quad (1)$$

- условие материального баланса

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\text{div}(\bar{j}_i), \quad i = 1, \dots, n; \quad (2)$$

- условие электронейтральности электролита

$$\sum_{i=1}^n Z_i C_i = Q; \quad (3)$$

– условие протекания электрического тока

$$\sum_{i=1}^n Z_i \bar{j}_i = \frac{i}{F} \quad (4)$$

– уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\bar{V}, \nabla T) = \frac{1}{\rho_0 c_p} (\lambda \Delta T - (\nabla \varphi, \bar{i})), \quad (5)$$

– уравнение Навье-Стокса

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V}, \nabla) \bar{V} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla P + \nu \Delta \bar{V} + \frac{1}{\rho_0} \bar{f}_g, \quad (6)$$

$$\operatorname{div}(\bar{V}) = 0$$

где j_i – поток i -го иона, моль/(см²·с);

Z_i – заряд иона;

D_i – коэффициент диффузии иона, м²/с;

$\nabla \varphi$ – градиент электрического потенциала;

ΔC_i – градиент концентрации иона в ячейке;

\bar{V} – скорость течения жидкости, м/с;

Q_i – плотность заряда фиксированных групп в мембране ($Q = 0$ для раствора);

\bar{i} – плотность электрического тока, А/см²;

R – универсальная газовая постоянная, 8,3144 Дж/(моль·К);

T – абсолютная температура, К;

$F = 96\,500$ кулонов/моль – число Фарадея;

ρ_0 – характерная плотность раствора, кг/м³;

c_p – удельная теплоемкость раствора, Дж/(кг·К);

λ – коэффициент теплопроводности раствора, Дж/(м·с·К);

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

Δ – оператор Лапласа;

$\bar{f}_g = q \Delta \rho$ – плотность архимедовых сил плавучести;

q – ускорение свободного падения, м/с²;

$\Delta \rho = \rho - \rho_0$ – изменение плотности раствора.

Приведенные уравнения могут быть упрощены, если электрохимическую обработку проводить в неподвижном электролите, а также считать разогрев электролита и изменение плотности жидкости незначительными. В этом случае уравнения (5) и (7) можно не учитывать. Остается четыре уравнения (1–4), приведенные к виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} j_i = -\frac{F}{RT} z_i D_i C_i \nabla \varphi - D_i \nabla C_i \\ \frac{\partial C_i}{\partial t} = -\operatorname{div}(\bar{j}_i), i = 1 \dots n \\ \sum_{i=1}^n Z_i C_i = Q_i \\ \sum_{i=1}^n Z_i \bar{j}_i = \frac{\bar{i}}{F} \end{array} \right. .$$

Здесь исключено действие скорости потока жидкости, т. к. $\bar{V} = 0$; кроме того, наблюдается только конвективная диффузия ионов. Можно сделать вывод, что изменения концентрации любого иона в воде зависит от градиента электрического поля $\nabla \varphi$, заряда иона Z_i и плотности электрического тока \bar{i} .

Электрохимическое умягчение воды протекает за счет продуктов электролиза, выделяющихся на электродах [5, 6]. Количество вещества G , выделяющегося за счет электролиза, определяется законом Фарадея [7]

$$G = \frac{I \cdot t}{26,8}, \text{ г-экв,}$$

где I – ток электролиза, А;

t – продолжительность пропускания тока, час;

26,8 – количество А·ч электричества, необходимое для выделения 1 г-экв любого вещества.

Удобнее отнести величину G к единице объема воды, тогда получим удельное выделение вещества из 1 м³ воды

$$g = \frac{I \cdot t}{26,8W}, \frac{z - экв}{м^3},$$

где W – объем воды, м³.

В результате электролиза жесткость воды изменится на величину g , тогда можно записать

$$\mathcal{K} = \mathcal{K}_{исх} - \frac{I \cdot t}{26,8W}, \frac{z - экв}{м^3}, \quad (7)$$

В идеальном случае величина жесткости должна быть снижена до нуля, чтобы не было накипеобразования, тогда

$$\mathcal{K}_{исх} - \frac{I \cdot t}{26,8W} = 0.$$

Отсюда предельный удельный расход электричества на обработку 1 м³ воды составит

$$\frac{I \cdot t}{W} = \mathcal{K}_{исх} 26,38, \text{ А} \cdot \text{ч} / \text{м}^3.$$

Обозначим

$$\frac{I \cdot t}{W} = \partial_3,$$

где ∂_3 – удельный расход электричества на обработку 1 м³ воды (доза электричества).

Итак,

$$\partial_3 = 26,8 \mathcal{K}_{исх}, \text{ А} \cdot \text{ч} / \text{м}^3. \quad (8)$$

Таким образом, глубина электрохимического умягчения зависит от величины удельного расхода электричества ∂_3 . Отметим также, что для обеспечения длительной службы электродов большое значение имеет плотность электрического тока $i = I/S$, А/м², где S – площадь электродов, м².

Выбор материала электродов предопределяет площадь электродов S и размеры камеры электролиза. Формула (8) не учитывает выход по току B [%], который зависит от вида выделяемых веществ, плотности тока и материала электродов, расстояния между электродами и напряженности электрического поля, перемешивания электролита и образования осадков [8]. В общем виде можно записать

$$\partial_3 = 26,8 \mathcal{K}_{исх} B / 100, \text{ А} \cdot \text{ч} / \text{м}^3. \quad (9)$$

Величина B обычно определяется экспериментально.

Эффективность предотвращения накипеобразования в котлах зависит, главным образом, от глубины умягчения воды при электрохимической водоподготовке. Кроме того, определенное значение имеет вид накипеобразующих веществ и их остаточная концентрация, величина удельного теплового потока через теплопередающую поверхность, материал поверхности нагрева, гидродинамические условия у стенок котла, температура воды в котле.

Существует большое количество формул, описывающих интенсивность накипеобразования в котлах. В частности, одной из наиболее простых и достаточно удачных можно считать следующую [9]

$$I = \beta \Delta c, \text{ г} / \text{м}^2 \text{ час}, \quad (10)$$

где Δc – концентрационный напор, г / м³, равный разности $(c - c_0) = \Delta c$;

c – концентрация накипеобразования в воде;

c_0 – растворимость накипеобразователя;

β – коэффициент массопередачи, м / ч.

$$\beta = 0,023 \frac{D}{d} \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{1/3}, \text{ м} / \text{ч}, \quad (11)$$

где D – коэффициент молекулярной диффузии вещества в среде, м²/с;

d – диаметр трубы, на которую осаждается накипь, м;

Re – число Рейнольдса;

Pr – диффузионное число Прандтля.

Преимуществом формулы (10) является учет движущей силы процесса осаждения накипи Δc , а также гидродинамических условий. Отметим, что электрохимическая обработка уменьшает движущую силу процесса Δc и снижает интенсивность накипеобразования пропорционально уменьшению Δc . Кроме того, в экспериментальной лабораторной установке следует использовать для нагрева воды трубы как можно меньшего диаметра. Это увеличит коэффициент массопередачи и усилит накипеобразование на лабораторном стенде, что позволит более ясно выразить противонакипной эффект электрохимической водоподготовки.

Размеры зародышей кристаллизации r накипеобразователя также зависят от пересыщения воды [10]

$$r = \frac{2\sigma M}{\rho R T \ln\left(\frac{c}{c_0}\right)}, \quad (12)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости, Дж/м²;
 M – молекулярная масса выделяющегося вещества, для CaCO_3 $M = 100$;
 ρ – плотность вещества, для CaCO_3 $\rho = 2\,500$ кг/м³;
 c и c_0 – то же, что и в формуле (10).

Очевидно, что снижение концентрации накипеобразователя c путем электрохимического умягчения приводит к увеличению размеров зародышей. В работе В. П. Глебова [11] показано, что вероятность закрепления накипи на поверхности нагрева обратно пропорциональна размеру частиц в кубе. Экспериментами показано [12], что при электрообработке воды размер частиц накипи в воде увеличивается с 7–8 до 11–13 мкм, а на поверхностях нагрева закрепляются только частицы размером менее 10 мкм. Таким образом, электрохимическая обработка не только снижает концентрацию накипеобразователя в воде, но и способствует образованию более крупных микрокристаллов накипи в объеме воды, которое практически не способны осажаться на стенках теплообменников.

ВЫВОДЫ

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- изменение концентрации любого иона в воде зависит от градиента электрического поля $\nabla\phi$, заряда иона Z_i и плотности электрического тока \vec{i} ;
- глубина электрохимического умягчения в большей степени зависит от величины удельного расхода электричества Δ_3 ;
- эффективность предотвращения накипеобразования в котлах зависит, главным образом, от глубины умягчения воды при электрохимической водоподготовке;
- электрохимическая обработка уменьшает движущую силу процесса осаждения накипи Δc и снижает интенсивность накипеобразования пропорционально уменьшению Δc ;
- электрохимическая обработка не только снижает концентрацию накипеобразователя в воде, но и способствует образованию более крупных микрокристаллов накипи в объеме воды, которые практически не способны осажаться на стенках теплообменников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шинкевич, Е. О. Экологически эффективная электролизная технология подготовки воды на объектах энергетики в структуре промышленных предприятий [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 03.00.16 / Шинкевич Е. О. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2003. – 198 с.
2. Баштан, С. Ю. Электрохимическая очистка воды в аппаратах с разделительной керамической мембраной [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.21 / Баштан С. Ю. – Киев, 2009. – 222 с.
3. Письменский, А. В. Математическое моделирование электромембранных процессов очистки воды с учетом гравитационной конвекции [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 03.00.16 / Письменский А. В. – Краснодар : Кубанский государственный университет, 2006. – 148 с.
4. Уртенев, К. М. Моделирование тепломассопереноса в электродиализных аппаратах водоподготовки для парогенераторов ТЭС и АЭС [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.04 / Уртенев К. М. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2011. – 210 с.
5. Найманов, А. Я. Электрохимическая технология водоподготовки для паровых котлов [Текст] / А. Я. Найманов, Н. И. Зотов, С. Е. Антоненко // Коммунальное хозяйство городов. Серия «Технические науки и архитектура». – Киев : Техніка, 2004. – Вып. 58. – С. 89–94.

6. Найманов, А. Я. Электрохимическое умягчение воды [Текст] / А. Я. Найманов, С. Е. Антоненко, С. В. Островская // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2001. – Вип. 2001-2(27) : Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 110–114.
7. Прикладная электрохимия [Текст] / [под ред. А. Л. Ротиняна]. – Л. : Химия, 1974. – 536 с.
8. Яковлев, С. В. Технология электрохимической очистки воды [Текст] / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 312 с.
9. Карнауков, А. П. Закономерность отложения карбонатной накипи на теплообменных поверхностях в условиях нагрева природных вод [Текст] / А. П. Карнауков, В. В. Чернозубов, Л. Г. Васина // Вопросы атомной науки и техники. Опреснение соленых вод. – Свердловск, 1977. – № 2/10. – С. 30–36.
10. Сагань, И. И. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках [Текст] / И. И. Сагань, Ю. С. Разладин. – Киев : Техника, 1986. – 134 с.
11. Внутритрубные образования в паровых котлах сверхкритического давления [Текст] / В. П. Глебов, Н. Б. Эскин, В. М. Трубачев [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 240 с.
12. Найманов, А. Я. Противонакипная электрообработка воды в системах оборотного водоснабжения [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.04 / Найманов А. Я. – Харьков, ХГТУСА, 1994. – 370 с.

Получено 02.10.2013

С. Є. АНТОНЕНКО

**ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ
ВОДОПІДГОТОВКИ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто теоретичні передумови ефективності електрохімічної водопідготовки. Виділено основні закономірності процесу електродіалізу, наведена система рівнянь, що описує нестационарний низькотермічний перенос іонів бінарного електроліту. Наведено формули, що описують інтенсивність утворення накипу у котлах.

електрохімічна водопідготовка, утворення накипу

SVETLANA ANTONENKO

**THEORETICAL PRECONDITIONS OF EFFICIENCY OF ELECTROCHEMICAL
WATER TREATMENT**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The theoretical preconditions of efficiency of electrochemical water treatment have been considered. The main regularities of process of an electro dialysis have been identified, the system of the equations describing non-stationary low-thermal transfer of ions of binary electrolyte has been given. The formulas describing intensity of a scaling in boilers have been given.

electrochemical water treatment, scaling

Антоненко Світлана Євгенівна – асистент кафедри міського будівництва та господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: електрохімічне зм'якшення води, нові матеріали і устаткування при проектуванні систем опалення.

Антоненко Светлана Евгеньевна – ассистент кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: электрохимическое умягчение воды, новые материалы и оборудование при проектировании систем отопления.

Antonenko Svetlana – the assistant, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: electrochemical softening the waters, new materials and the equipment at designing of systems of heating.

УДК 697.921.22

В. П. КИЧАТОВ ^а, З. В. УДОВИЧЕНКО ^а, А. С. ТОЛСТЫХ ^б

^а Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^б Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Туган-Барановского

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТРОЙСТВА КАНАЛА ПОДАЧИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ПОД ПОДОКОННИКОМ ОКНА

В статье представлена разработанная схема установки приточного воздушного клапана вне оконного блока с подачей наружного воздуха под оконным проемом в верхней части радиатора с последующим направлением воздушного потока вдоль стены вниз, а затем вдоль задней поверхности отопительного прибора вверх, что позволяет избежать эффекта сквозняка и возможного обледенения воздушного клапана.

естественная вентиляция, приточный воздух, воздушный клапан

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В жилых зданиях массовой застройки традиционно проектируется естественная вытяжная вентиляция. Однако устойчивость ее работы зависит от множества факторов, влияние которых часто отрицательно сказывается на качестве внутреннего воздуха.

Для создания нормального микроклимата в таких квартирах необходимо интенсивное проветривание помещений, а иногда и просушка стен. Проектные решения проветривания за счет открытых форточек, фрамуг, створок существенно снижают теплоэффективность оконных конструкций и комфортность проживания.

Свежий воздух является неотъемлемой частью необходимого условия комфортного существования человека, наш ежедневный рацион состоит на 75 % из воздуха, на 20 % из воды и еще 5 % – это пища, при этом человек является весьма сильным загрязнителем окружающей среды, выделяя углекислый газ, влагу и ещё множество химических веществ в небольших концентрациях.

Применение евроокон с 2–3 уплотнениями практически полностью исключает приток свежего воздуха в помещения, который ранее обеспечивался за счет неплотностей и щелей в старой «столярке». При нарушении постоянного воздухообмена в воздухе жилого помещения происходит накопление углекислого газа и паров воды за счет жизнедеятельности людей.

Увеличение уровня относительной влажности приводит к появлению конденсата на наиболее холодных элементах, образованию плесени, духоте.

Источниками загрязнения также являются и строительные материалы, из которых изготовлена мебель, ковры, электроника, утеплитель в стене.

Повышенная влажность стимулирует возникновение плесени, различных разновидностей грибов и бактерий.

Регулярное проветривание не решает проблем. Вместе со свежим воздухом в квартиру попадает пыль, шум, насекомые, а проветривание в зимний период вообще может создать множество неудобств. При проветривании теряются преимущества современных окон – тепло- и звукоизоляция [1, 2].

Для решения этих проблем могут использоваться приточные воздушные клапаны, которые обеспечивают постоянное автоматически регулируемое проветривание. Они практически исключают вероятность запотевания окон и образования плесени и грибка.

Известные системы приточной естественной вентиляции в виде приточных воздушных клапанов имеют существенный недостаток, заключающийся в размещении их над верхней частью радиатора.

При такой схеме установки клапана нарушается режим конвекции в помещении, т. е. холодный воздух перекрывает поток нагретого воздуха от радиатора, не позволяя ему прогреть окно. Проблема усугубляется установкой широких подоконников [3].

При выборе того или иного типа приточного устройства необходимо учитывать целый ряд факторов.

Это, в первую очередь, затраты на установку и эксплуатацию приточного устройства. Цена новых пластиковых окон с двухкамерным стеклопакетом находится в диапазоне 100–130 у. е. за 1 м². Стоимость клапана, как дополнительного оконного устройства, должна быть, конечно, значительно ниже стоимости самого окна. Но и совсем дешевым клапан, как достаточно сложное инженерное устройство с управлением потоком воздуха и средствами шумогашения, быть не может.

Важным фактором является также место установки приточного устройства. Приточный клапан может быть установлен непосредственно на окне или через стену рядом с окном.

При установке приточного устройства за радиатором в нижней его части появляются большие возможности по экономии тепла на подогрев вентиляционного воздуха, т.к. при прохождении потока приточного воздуха вдоль поверхности радиатора снизу вверх осуществляется подогрев холодного наружного воздуха.

При эксплуатации вентиляционный приточный клапан не должен ухудшать шумозащитные характеристики окон. Современные наиболее массовые окна ПВХ с двухкамерным стеклопакетом имеют индекс гашения транспортного шума около 30–35 ДБ(А). Поэтому сам вентиляционный клапан также желательно должен иметь близкую характеристику. На особо шумных магистралях могут быть востребованы и окна, и клапаны с шумозащитой на уровне 40 ДБ(А).

Приточный клапан при перепаде давлений 10 Па должен обеспечивать приток воздуха, обеспечивающий нормативные требования по воздухообмену в помещениях.

В зимних условиях при попадании струи холодного внешнего воздуха в теплое помещение появляются специфические проблемы, связанные с запотеванием и обмерзанием самого приточного клапана. Необходимо обратить внимание на то, чтобы конструкция клапана исключала такие явления или сводила их вероятность к минимуму. Дело в том, что приточные оконные устройства производятся в странах с достаточно мягким климатом (Германия, Франция, Бельгия, Англия), что неизбежно нашло отражение в их конструкции.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Предложить схему установки приточного воздушного клапана, позволяющую избежать эффекта сквозняка и обледенения приточного клапана.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

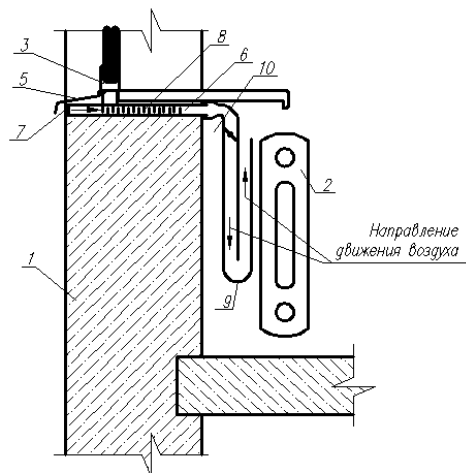
Поставленная цель достигается тем, что канал для подачи наружного воздуха, который имеет Г-образную форму, начинается под сливной доской, а заканчивается на уровне низа отопительного прибора, вследствие чего холодный воздух, перед тем как попасть в квартиру, прогревается, поднимаясь за радиатором вверх.

На рисунке показана схема устройства канала подачи воздуха на уровне низа оконного проема.

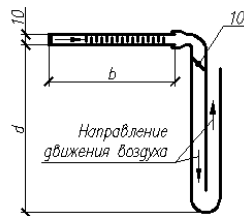
Способ предусматривает обеспечение в стене (1) подачи наружного воздуха в верхнюю зону прибора отопления (2) под низом конструкции окна (3), подоконника (4) и отлива (5) за счет установки канала подачи воздуха (6), который начинается во внешней поверхности стены, имеет в начале антимоскитную сетку (7), а в середине шумоглушитель (8), затем переходит в U-образную часть (9), перед которой расположен шибер (10) с регулятором подачи воздуха (11).

Внутренний размер канала (6) равен 10 мм, так как зазоры при устройстве окон из ПВХ-профилей должны составлять около 10–12 мм (от оконного блока к ограждающей конструкции). Вентиляционный U-образный канал (9) выполнен из декоративного пластика и расположен между радиатором и внешней стеной. Внешняя часть канала находится под сливной доской и закрыта антимоскитной сеткой. Ширина (а) канала зависит от количества воздуха, подаваемого в помещение, и от площади. Глубина (b) канала зависит от толщины наружной стены дома. Высота (d) канала зависит от типа радиатора (может колебаться от 400 до 700 мм). Для уменьшения передачи шума из внешней среды внутрь помещения предусмотрен шумоглушитель (8), расположенный в горизонтальной части канала. В нижней части вентканала имеет U-образную форму, что позволит использовать самотягу для принудительной подачи наружного воздуха в жилое помещение. Для регулирования

а) Канал подачи наружного воздуха под подоконником окна



б)



в)

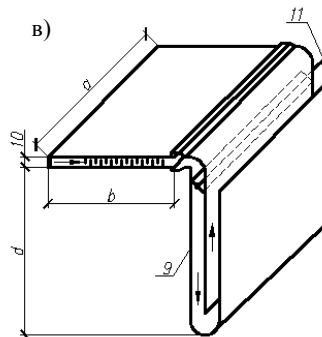


Рисунок – Схема устройства канала подачи воздуха на уровне низа оконного проема: а) общая схема устройства канала подачи воздуха на уровне низа оконного проема; б) поперечный разрез Г-образного подающего канала; в) аксонометрия подающего канала: 1 – наружная стена, 2 – прибор системы отопления, 3 – конструкция окна из ПВХ-профиля, 4 – подоконник, 5 – отлив, 6 – прямой участок канала, 7 – антимоскитная сетка, 8 – шумоглушитель, 9 – U-образная часть канала, 10 – шибер, 11 – регулятор положения шибера.

притока воздуха в помещение предусмотрен шибер (10), который может работать как в ручном (11), так и в автоматическом режимах.

Наружный воздух поступает через антимоскитные сетки в вентканал, проходит через шумоглушитель и попадает в U-образную часть канала. Стенка этого канала расположена возле радиатора системы отопления, имеет значительно большую температуру, чем температура внешней стенки. Вдоль этой стенки возникает подъемная сила за счет разницы плотностей наружного холодного и внутреннего подогретого воздуха. За счет этого происходит подача наружного воздуха в помещение [4, 5].

Предложенный способ предусматривается как для нового строительства, так и для реконструкции зданий, если в них применяются системы окон из ПВХ-профилей.

ВЫВОДЫ

Конденсат на окнах – это первый признак проблем с микроклиматом у Вас дома. И даже если вы установите 2-х камерный стеклопакет с энергосберегающим стеклом, то повысите температуру внутреннего стекла у стеклопакета, что значительно снизит вероятность запотевания окна, но влага никуда не денется, она останется в помещении и будет способствовать образованию плесени и грибка. Да и свежего воздуха в помещении это не прибавит. Импульсное проветривание тоже не решает проблемы микроклимата, для которого требуется постоянный приток свежего воздуха.

Будет ли появляться конденсат (с возможным последующим замерзанием) на самом устройстве или нет зависит, в первую очередь, от организации потока холодного воздуха при втекании в теплую

влажную среду помещения и конструкции самого приточного устройства. Необходимо учесть следующее: при одной и той же относительной влажности в процентах абсолютная влажность воздуха в граммах на 1 м³ зимой отличается очень сильно. Так, при 60%-ной влажности при –20 °С в воздухе содержится порядка 1 г/м³, а при +20 °С порядка 10 г/м³. При прохождении через любое отверстие в ограждающей конструкции (отверстие в стене, отверстие в оконном профиле, канал в приточном устройстве и т. д.) стенки этого отверстия конечно будут охлаждаться. Но конденсата на них не будет, т. к. с ними контактирует сухой холодный внешний воздух, а не внутренний теплый и влажный. По такому принципу никогда не потеет обычная приоткрытая форточка на традиционном деревянном окне. Шумозащитное приточное устройство для избежания конденсата должно быть спроектировано так, чтобы охлажденные части конструкции не соприкасались с внутренним воздухом, а омывались внешним.

Клапаны, установленные вне конструкции оконного блока, решают проблему по снабжению помещения свежим воздухом, при этом полностью соответствуя современным требованиям по энергосбережению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер, А. Системы вентиляции [Текст] / А. Беккер ; пер. с нем. Казанцевой Л. Н. под ред. Г. В. Резникова. – М. : Евроклимат, 2005. – 232 с. – ISBN 5-94836-047-4.
2. Стомахина, Г. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст] : Справочное пособие / Г. И. Стомахина. – М. : Пантори, 2003. – 275 с.
3. Boehm, R. F. Testing of air-flow windows for evaluation and application [Текст] / R. F. Boehm, K. Brandle // Solar engineering, 1981 : proceedings of the ASME Solar Energy Division Third Annual Conference on Systems Simulation, Economic Analysis/Solar Heating and Cooling Operational Results, Reno, Nevada, April 27–May 1, 1981 / Robert L. Reid; L. M. Murphy; Dan S. Ward; American Society of Mechanical Engineers. Solar Energy Division. – New York : American Society of Mechanical Engineers, 1981. – P. 589–596.
4. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст] / В. Н. Богословский. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.
5. Стефанов, Е. В. Инженерные системы зданий. Вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст] / Е. В. Стефанов. – С.-Пб. : Авок Северо-Запад, 2005. – 394 с.

Получено 04.10.2013

В. П. КИЧАТОВ ^a, З. В. УДОВИЧЕНКО ^a, А. С. ТОЛСТИХ ^b РОЗРОБКА СХЕМИ ПРИСТРОЮ КАНАЛУ ПОДАЧІ ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ ПІД ПІДВІКОННИМ ВІКНА

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури, ^b Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Туган-Барановського

У статті представлена розроблена схема установки припливного повітряного клапана поза віконного блока, з подачею зовнішнього повітря під віконним отвором у верхній частині радіатора з подальшим направленням повітряного потоку уздовж стіни вниз, а потім уздовж задньої поверхні опалювального приладу вгору, що дозволяє уникнути ефекту протягу і можливого обмерзання повітряного клапана.
природна вентиляція, припливне повітря, повітряний клапан

VALENTIN KICHATOV ^a, ZLATA UDOVICHENKO ^a, ANDREI TOLSTYKH ^b DEVELOPMENT SCHEMES CHANNEL DEVICES SUPPLY AIR UNDER THE WINDOW SILL

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

The developed scheme of installation of air intake valve is the window unit, with the addition of outside air at a window opening in the top of the radiator and then the direction of the air flow along the wall down, and then along the back of the heater up, which avoids the effect of drafts and possible icing air valve has been presented.

natural ventilation, the indoor air, the air valve

Кичатов Валентин Петрович – доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадні технології в системах теплогазопостачання і вентиляції.

Удовиченко Злата Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадні технології в системах теплогазопостачання і вентиляції.

Толстых Андрій Станіславович – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Наукові інтереси: очищення технологічних газів, які відходять, від пилу і хімічних шкідливостей.

Кичатов Валентин Петрович – доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Удовиченко Злата Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Толстых Андрей Станиславович – кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли им. Туган-Барановского. Научные интересы: очистка отходящих технологических газов от пыли и химических вредностей.

Kichatov Valentin – Assistant Professor, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving technologies in the heat-gas supply and ventilation systems.

Udovichenko Zlata – PhD (Eng.), an Associate Professor, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving technologies in the heat-gas supply and ventilation systems.

Tolstykh Andrei – PhD (Eng.), an Associate Professor, Department of Ecology and Physics of Donetsk National University of Economics and Trade named after M. Tugan-Baranovsky. Scientific interests: cleaning of technological off-gas from a dust and chemical harm.

УДК 621.182:658.264

С. И. МОНАХ, Д. В. ВЫБОРНОВ, А. О. ШАЦКОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Проанализированы проблемы выбора источника теплоты и предложена методика расчета его тепловой мощности для функционирующих объектов, на которых внедряется автономная система теплоснабжения.

автономная система теплоснабжения, источник теплоты, вид энергоносителя, теплогенератор, тепловая мощность

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современная автономная система теплоснабжения – это интеллектуальная система, обеспечивающая комфортное отопление и горячее водоснабжение. Надежное функционирование всей системы в целом зависит от многих этапов: обоснованный и рациональный выбор типа автономной системы теплоснабжения, грамотное проектирование, подбор современного оборудования, профессиональный монтаж, квалифицированные пусконаладочные работы и своевременное квалифицированное обслуживание.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Исследование проблем выбора источника теплоты для внедряемых автономных систем теплоснабжения и разработка методики расчета его тепловой мощности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Одним из основных и трудных вопросов при проектировании современной автономной системы теплоснабжения является выбор энергоносителя для автономной системы теплоснабжения (АСТ). Из вышеприведенного анализа можно заключить, что выбор энергоносителей для современной автономной системы теплоснабжения достаточно широкий – газообразное топливо, сжиженный газ, жидкое топливо, различные виды твердого топлива, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. От вида энергоносителя зависит тип генератора теплоты, тип отопительных приборов, системы автоматики и т. д. Кроме того, следует учитывать, что энергоноситель, экономичный и эффективный для системы отопления, не всегда является таковым для системы горячего водоснабжения.

Выбор энергоносителя в основном зависит от:

- 1) целесообразности применения в конкретной автономной системе (поквартирной, индивидуальной или децентрализованной);
- 2) доступности рассматриваемого энергоносителя для данного региона;
- 3) стоимости энергоносителя;
- 4) его теплотворной способности;
- 5) удобства в эксплуатации и стоимости самой эксплуатации;
- 6) экологических аспектов эксплуатации системы;
- 7) архитектурных особенностей здания, для которого разрабатывается АСТ.

Стоимость того или иного энергоносителя не только различна для различных регионов, но варьируется и для разных категорий потребителей.

Общей и потому полезной информацией для выбора вида АСТ будет информация о теплопродуктивности различных теплоносителей.

При расходе 1 кВт·час электроэнергии можно получить 3,6 МДж тепловой энергии при 100 % коэффициенте полезного действия теплогенератора.

Удельная теплота сгорания дизельного топлива – 42 МДж/кг (или 11,7 кВт·час). С учетом плотности (0,8 кг/литр) литр солярки дает 33,6 МДж/кг (или 9,3 кВт·час).

Удельная теплота сгорания пропанобутановой смеси сжиженного углеводородного газа (СУГ) – 115 МДж/м³ (31,9 кВт·час). Плотность газовой фазы – 2,5 кг/м³, или (с учетом плотности сжиженного газа 0,6 кг/литр), 4 литра/м³. 1 литр пропан-бутана дает около 29 МДж (8 кВт·час).

Среднее значение теплоты сгорания природного газа можно принять – 36 МДж/м³ (10 кВт·час).

Сжиженный газ в АСТ используется редко, но следует учитывать, что в настоящее время на топливном рынке существует тенденция снижения стоимости сжиженного газа в связи с постановлением правительства России о значительном сокращении объемов сжигания попутного газа при добыче нефти, а следовательно, увеличения объемов переработки попутного газа и увеличения, таким образом, объемов сжиженного газа на рынке.

Второй проблемой определяющей эффективность и надежность работы всей АСТ, является выбор генератора или генераторов теплоты (для бивалентных и комбинированных систем).

При всем многообразии теплогенерирующего оборудования на рынке Украины все-таки следует выделить наиболее широко представленные и внедряемые – электрические и газовые нагреватели.

Проблемным вопросом при уже определенном виде энергоносителя и определенном типе котла является выбор конкретного оборудования.

Теплогенератор для автономного теплоснабжения должен сопровождаться:

- 1) сертификатом соответствия (выдает государственный комитет по вопросам технического регулирования);
- 2) заключением санитарной экспертизы;
- 3) разрешением на эксплуатацию (выдает государственный комитет по надзору за охраной труда);
- 4) гарантийной книжкой (в книжке должен быть полный перечень сервисных служб).

Мощность источника (источников) теплоты АСТ – это первое, что будет определять эффективность работы системы. В особенности важно обоснованно определять мощность генератора теплоты для системы отопления уже функционирующего объекта теплопотребления. Отопительный котел избыточной мощности будет перерасходовать топливо, а недостаточная мощность «сердца» системы отопления не позволит получить нужную температуру в отапливаемых помещениях.

В настоящее время проектировщиками часто используется упрощенный расчет мощности котла ($W_{\text{котла}}$). В этом случае используется всего два параметра – отапливаемая площадь дома S (м²) и удельная мощность отопительного котла $W_{\text{удельная}}$ на 10 м². Так, для северных областей Украины рекомендуется принимать удельную мощность равной 1,5–2,0 кВт/10 м², для центральных областей – 1,2–1,5 кВт/10 м², для южных областей Украины – 0,7–0,9 кВт/10 м².

Далее расчет мощности отопительного котла для автономной системы отопления проводят по формуле:

$$W_{\text{котла}} = W_{\text{удельная}} \times S/10. \quad (1)$$

Такой упрощенный метод расчета мощности отопительного котла не учитывает целый ряд важных факторов, а именно: теплозащитные и теплоинерционные свойства наружных ограждающих конструкций; площадь остекления по фасадам конкретного здания; конструкцию заполнения световых и дверных проемов, ориентацию фасадов здания.

Поэтому целесообразна разработка методики определения мощности источника теплоты для автономной системы отопления, учитывающей приведенные выше факторы. Это в особенности актуально для уже построенных и функционирующих объектов, т. е. для тех объектов, которые «переводятся» на автономное теплоснабжение. Методика разработана на основании и с соблюдением действующей нормативной документации [1, 3].

Подбор мощности котла отопления производят исходя из значения удельных теплотерь отапливаемого объекта за отопительный период $q_{\text{дом}}$, кВт·час/м².

$$q_{\text{дом}} = Q_{\text{год}}/F_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{год}}$ – расход тепловой энергии на отопление здания на протяжении отопительного периода;
 F_h – отапливаемая площадь здания.

Расчет расхода тепловой энергии на отопление здания проводят по формуле:

$$Q_{\text{год}} = \beta_h \cdot [Q_k - (Q_{\text{внб}} + Q_s) \times v], \quad (3)$$

где β_h – коэффициент, учитывающий дополнительные теплотребования системой отопления, что связано с дискретностью отопительного потока и дополнительными теплопотерями через части стен дома, на которых установлены радиаторы отопления, теплопотери трубопроводов, которые проходят через неотапливаемые помещения. Расчет системы автономного отопления проводят, принимая при этом $\beta_h = 1,11$;

$Q_{\text{внб}}$ – бытовые теплопоступления на протяжении отопительного периода;

v – коэффициент, учитывающий способность стен здания аккумулировать или отдавать тепло при периодическом отоплении дома. Для расчета системы автономного отопления современного частного дома, построенного с соблюдением норм термических сопротивлений наружных ограждающих конструкций [1], рекомендуется принимать $v = 0,8$. Однако следует помнить, что этот коэффициент во многом зависит от теплоинерционных свойств наружных ограждающих конструкций и для автономного отопления квартиры, например в крупнопанельном многоэтажном здании, будет значительно ниже и может быть принят: $v = 0,3 \div 0,5$;

Q_k – общие теплопотери здания (дома, квартиры). Расчет Q_k проводят по формуле:

$$Q_k = \chi_1 \times K_{\text{дом}} \times D_d \times F_{\Sigma}, \quad (4)$$

где $\chi_1 = 0,024$ – размерный коэффициент;

F_{Σ} – внутренняя общая отапливаемая площадь стен, пола и потолка, м^2 ;

D_d – количество градусо-суток отопительного периода, которое определяется по температурной зоне строительства.

Температурная зона строительства определяется по приложению В [1].

$K_{\text{дом}}$ – усредненный коэффициент теплопередачи наружных ограждений дома, который рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{дом}} = k_{\Sigma\text{пр}} + k_{\text{инф}}, \quad (5)$$

где $k_{\Sigma\text{пр}}$ – приведенный коэффициент теплопередачи теплоизоляционной оболочки здания, который рассчитывается по формуле:

$$k_{\Sigma\text{пр}} = \xi \times (F_{\text{нч}}/R_{\Sigma\text{пр нч}} + F_{\text{сч}}/R_{\Sigma\text{пр сч}} + F_{\text{д}}/R_{\Sigma\text{пр д}} + F_{\text{пк}}/R_{\Sigma\text{пр пк}} + F_{\text{ц}}/R_{\Sigma\text{пр ц}}) / F_{\Sigma}, \quad (6)$$

где ξ – коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери, связанные с ориентацией здания относительно сторон света, наличием угловых помещений, поступлением холодного воздуха через вход в дом. Для частных жилых домов, имеющих наружные стены, ориентированные по четырем направлениям сторон горизонта возможно принять: $\xi = 1,13$; в других случаях его необходимо принимать руководствуясь нормативной литературой [3].

$F_{\text{нч}}$, $F_{\text{сч}}$, $F_{\text{д}}$, $F_{\text{пк}}$, $F_{\text{ц}}$ – площадь соответственно стен (непрозрачных частей), светопрозрачных частей (окон, фонарей), наружных дверей и ворот, перекрытий (чердачных перекрытий), цокольных перекрытий;

$k_{\text{инф}}$ – условный коэффициент теплопередачи наружных ограждающих конструкций, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, который рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{инф}} = \chi_2 \times c \times v_v \times V_h \times \eta \times \gamma_3 / F_{\Sigma}, \quad (7)$$

где $\chi_2 = 0,278$ – размерный коэффициент;

$c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – удельная теплоемкость воздуха;

$v_v = 0,85$ – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждений;

V_h – отапливаемый объем здания;

η – коэффициент влияния встречного теплового потока в ограждающих конструкциях.

η принимается 0,7 – для стыков панелей стен, а также многостворочных окон здания; 0,8 – для двустворочных окон и балконных дверей; 1,0 – для одностворочных окон и балконных дверей; при этом коэффициент η рекомендуется принимать по наибольшему значению, единым по всему зданию;

γ_3 – средняя плотность воздуха, которая определяется для здания с учетом инфильтрации и вентиляции, кг/м³.

Средняя плотность воздуха для жилых помещений при расчете отопления определяется как:

$$\gamma_3 = 353 / [273 + 0,5 \times (t_b + t_{\text{отп}})], \quad (8)$$

где t_b – расчетная температура внутреннего воздуха помещения здания, корректируется в зависимости от расчетной влажности внутреннего воздуха по таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные значения температуры и влажности воздуха для отапливаемых помещений

Назначение здания	Расчетная температура внутреннего воздуха t_b , °C	Расчетное значение относительной влажности ϕ_b , %
Жилой дом	20	55
Общественное или административное здание	20	50–60
Лечебные и детские учебные заведения	21	50
Дошкольные заведения	22	50

$t_{\text{отп}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период.

Q_s – тепловые поступления через окна от солнечной радиации на протяжении отопительного периода для четырех фасадов дома, которые ориентированы по четырем сторонам света – север (С), восток (В), юг (Ю) и запад (З).

Тепловые поступления через окна можно рассчитать по формуле:

$$Q_s = \xi_b \times \epsilon_b \times (F_C \cdot I_C + F_B \cdot I_B + F_{Ю} \cdot I_{Ю} + F_З \cdot I_З) + \xi_{з.л} \times \epsilon_{з.л} \times F_{\text{сп.ф}} \times I_r, \quad (9)$$

где $\xi_b, \xi_{з.л}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема относительно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, которые принимаются соответственно табл. 2;

$\epsilon_b, \epsilon_{з.л}$ – коэффициенты относительного проникновения солнечной радиации для светопрозрачных заполнений окон и зенитных фонарей, которые принимаются по паспортным данным соответствующих светопрозрачных конструкций или по табл. 2. Мансардные окна с углом наклона к горизонту 45 градусов и больше надо считать как вертикальные окна, а с углом меньше 45 градусов – как зенитные фонари;

$F_C, F_B, F_{Ю}, F_З$ – площадь светопрозрачных фасадов здания, которые соответственно ориентированы по четырем сторонам света;

$F_{\text{сп.ф}}$ – площадь световых зенитных фонарей здания;

$I_C, I_B, I_{Ю}, I_З$ – средняя величина солнечной радиации за отопительный период, которая направлена на вертикальную поверхность при условии облачности, которая соответственно ориентирована по четырем фасадам дома (для промежуточных ориентиров фасада дома, которые отличаются от направлений на С, В, Ю, З, величину солнечной радиации следует определять интерполяцией);

$I_C, I_B, I_{Ю}, I_З$ – определяются по климатологическим справочным данным [2].

I_r – средняя величина солнечной радиации за отопительный период, направленная на горизонтальную поверхность при условии облачности [2].

При выборе автономного источника теплоты для вновь проектируемого объекта расчет его мощности следует начинать с расчета теплопотерь всех отапливаемых помещений в установленном нормативными документами [1, 3] порядке. Затем произвести расчет требуемой тепловой мощности на обеспечение объекта горячим водоснабжением. И тепловая мощность источника теплоты определится как сумма тепловых нагрузок на системы отопления и горячего водоснабжения.

Таблица 2 – Значение коэффициентов затенения светового проема и относительного проникновения солнечной радиации, соответственно окон и зенитных фонарей

Заполнение светового проема	Коэффициенты $\xi_{\text{в}} i \xi_{\text{з.л.}}$; $\epsilon_{\text{в}} i \epsilon_{\text{з.л.}}$			
	при деревянных или ПВХ переплетах		при алюминиевых переплетах	
	$\xi_{\text{в}} i \xi_{\text{з.л.}}$	$\epsilon_{\text{в}} i \epsilon_{\text{з.л.}}$	$\xi_{\text{в}} i \xi_{\text{з.л.}}$	$\epsilon_{\text{в}} i \epsilon_{\text{з.л.}}$
Двойное стекло с селективным <i>i</i> -покрытием на внутреннем стекле:				
– однокамерные стеклопакеты в одинарном переплете;	0,80	0,54	0,80	0,54
– двойное остекление в спаренных переплетах;	0,75	0,65	0,70	0,65
– двойное остекление в разделенных переплетах	0,65	0,60	0,60	0,60
Тройное остекление из обычного стекла в отдельных спаренных переплетах	0,50	0,70	0,50	0,70
Однокамерные стеклопакеты и одинарное остекление в разных переплетах	0,60	0,63	0,60	0,63
Однокамерный стеклопакет с селективным покрытием и одинарное остекление в разных переплетах	0,60	0,58	0,60	0,58
Двухкамерный стеклопакет с селективным покрытием на внутреннем стекле и в одинарном переплете	0,8	0,48	0,8	0,4

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – На заміну СНиП II-3-79 ; чинні від 2007-04-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 64 с. – (Державні будівельні норми).
- ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [Текст]. – Скасовує СНиП 2.01.01-82 і таблицю 2 ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 ; чинний від 1 листопада 2011 року. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 136 с. – (Держстандарт України).
- ДБН В.2.5-20-2001. Газоснабження [Текст]. – Взамен СНиП 2.04.08-87, СНиП 3.05.02-88 ; введ. 2001-08-01. – К. : Госстрой Украины, 2001. – 287 с. – (Национальный стандарт Украины).
- СНиП II-35-76. Нормы проектирования. Котельные установки [Текст]. – Взамен СНиП II-Г.9.65, СН 350-66 ; дата введения 1978-01-01. – М. : Стройиздат, 1977. – 49 с. – (Государственные строительные нормы и правила).
- Соснин, Ю. П. Отопление и горячее водоснабжение индивидуального дома [Текст] : [Справ. пособие] / Ю. П. Соснин, Е. Н. Бухаркин. – М. : Стройиздат, 1991. – 384 с. : ил.
- Монах, С. И. Классификация современных систем теплоснабжения [Текст] / С. И. Монах, А. А. Олексюк, С. Н. Шакура // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : Збірник наукових праць. – Макіївка, 2005. – Вип. 2005-2(50) : Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 158–164.
- Монах, С. И. Розрахунково-аналітичні дослідження загального коефіцієнта ефективності існуючих систем опалення залежно від ступеня їхньої централізації [Текст] / С. И. Монах, Д. А. Гармаш // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : Збірник наукових праць. – Макіївка, 2009. – Вип. 2009-2(76) : Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. – С. 106–114.

Получено 02.10.2013

С. І. МОНАХ, Д. В. ВИБОРНОВ, А. О. ШАЦКОВ
ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ
СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Проаналізовані проблеми вибору джерела теплоти й запропонована методика розрахунків його теплової потужності для функціонуючих об'єктів, на яких впроваджується автономна система теплопостачання.
автономна система теплопостачання, джерело теплоти, вид енергоносія, теплогенератор, теплова потужність

SVETLANA MONAH, DMITRY VYBORNOV, ARTEM SHACKOV
PROBLEMS OF WARMTH SOURCE CHOICE FOR THE AUTONOMOUS HEAT
SYSTEM

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The problems of warmth source choice have been analyzed. The method of calculation of its thermal power has been suggested for functioning objects on which the autonomous heat system is inculcated on.

autonomous system of heat supply, source of warmth, type of power medium, boiler, thermal power

Монах Світлана Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання при впровадженні теплонасосних та когенераційних технологій виробництва енергоносіїв.

Выборнов Дмитрий Володимирович – аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання та гарячого водопостачання з використанням теплонасосних технологій.

Шацков Артем Олегович – аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в автономних системах теплопостачання.

Монах Светлана Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения при внедрении теплонасосных и когенерационных технологий производства энергоносителей.

Выборнов Дмитрий Владимирович – аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения с использованием теплонасосных технологий.

Шацков Артем Олегович – аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосбережение в автономных системах теплоснабжения.

Monakh Svetlana – PhD (Eng.), an Associate Professor, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in heat supply systems with introduction of heat pump and cogeneration technologies of energy carry production.

Vybornov Dmitry – a post-graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving in heat and hot water supply systems with use of heat pump techniques.

Shatskov Artem – a post-graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in systems of autonomous heat supply.

УДК 658.567(066)

Є. Л. ЧУДАНОВА, В. В. ХАЗІПОВА

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ЗМЕНШЕННЯ ВІДХОДІВ У НАПРЯМКУ ОДЕРЖАННЯ ДЕРЕВОПЛАСТУ

Отримані екологічно безпечні матеріали для будівництва з високими фізико-механічними властивостями на основі відходів деревини й вторинних термопластів. Проаналізовані газові викиди, що утворюються при виробництві деревопласту.

відходи деревообробки, відходи термопластичних полімерів, деревопласт

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

Особливе значення в створенні екологічно чистого середовища перебування надається житлу, де людина проводить більшу частину свого часу. У таких умовах організм її піддається впливу великої кількості хімічних речовин, що мігрують із будівельних конструкцій, оздоблювальних матеріалів, меблів тощо. Одним з найпоширеніших токсинів у цьому ряді є формальдегід, який відноситься до канцерогенних речовин.

Джерелом тривалої міграції формальдегіду в навколишнє середовище є дерево-стружкові, деревоволокнисті, фанера й інші матеріали, виробництво яких базується на використанні формальдегідовмісних смол. Незважаючи на численні заборони щодо застосування цих смол для виробництва плитних і теплоізоляційних матеріалів, їх використання як в Україні, так і в інших країнах триває. Це пов'язано з відсутністю альтернативних зв'язувальних речовин і більш прогресивних технологій, здатних конкурувати за своїми техніко-економічними показниками з виробництвом деревинно-стружкових і деревинноволокнистих плит.

У багатьох країнах спостерігається збільшення обсягів використання натурального дерева у виробництві меблів і в будівництві, що навряд чи можна розглядати як альтернативне вирішення існуючої проблеми, оскільки обсяги деревини катастрофічно зменшуються й приводять до дефіциту цього виду сировини.

Одним з перспективних напрямків є створення композицій на основі екологічно чистих продуктів, де як зв'язувальні матеріали застосовують термопласти (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид і їх сополімери). Створення композиційних матеріалів на основі вторинних термопластів, які змішані зі здрібненими відходами деревини, дозволяє вирішити проблему спільного об'єднання цих відходів у виробництво [1].

Вищевикладене обумовлює необхідність створення теоретичної й методологічної бази розробки сполук і технології будівельних матеріалів на основі деревних відходів і відходів поліетилентерефталату (ПЕТФ) і поліетилену високого тиску (ПЕВТ).

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Метою даної наукової роботи є складання й удосконалення технології виробництва композиційних матеріалів на основі вторинного поліетилентерефталату, поліетилену високого тиску й деревних відходів для умов ринку Донбасу; оцінка кількості шкідливих речовин, що виділяються в атмосферне повітря в процесі виробництва композитів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

1. Складання рецептури композиційних матеріалів з екологічно чистої сировини – відходи деревообробки й відходи термопластичних полімерів.

2. Удосконалення способу одержання деревопласту за рахунок розпилення зв'язувального полімерного матеріалу, що дозволяє отримувати високі фізико-механічні показники властивостей виробів.

3. Оцінка прогнозованого стану повітряного басейну в місці розташування установки.

Світове виробництво пластмас зростає на 5–6 % щорічно й, за прогнозами, до 2010 р. досягне 250 млн тонн [1, 2]. Причому, що найбільш швидко розвивається сьогодні ринок ПЕТФ. З ростом попиту на ПЕТФ, природно, збільшується кількість відходів. Сьогодні відходи ПЕТФ становлять більше 30 % від усіх відходів пластмаси, 80 % яких зараз переробляються. Методи переробки вторинного поліетилентерефталату розширюються й удосконалюються. Цікавими є напрямки рециклінгу ПЕТФ. У патентній літературі освітлені технології одержання композиційних матеріалів на основі вторинної полімерної сировини з різними наповнювачами – деревинна тирса, деревинна стружка. Обсяги деревинних відходів в Україні достатні і можуть бути оцінені в 6,5 млн м³. Створення композиційних матеріалів на основі вторинних термопластів і здрібнених відходів деревини дозволяє вирішити проблему спільного залучення цих відходів у виробництво [3].

Складання й удосконалення композицій є однією з найбільш актуальних тем у всій науково-технічній проблематиці виробництва й застосування деревинно-полімерних композитів. Крім численних зарубіжних університетських лабораторій, дослідженнями в цьому напрямку зайнята безліч незалежних дослідницьких центрів, у тому числі й кафедри екології та технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури.

У даній роботі отримання композиційних матеріалів на основі вторинної полімерної сировини і деревинних відходів (деревопласту) здійснювали методом екструзії.

Необхідна концентрація деревної маси досягалась змішуванням з гранулами високов'язкого пластику. Як добавку, яка служить для армування матеріалу, підмішували в компаунд «деревопластик», потім піддавали продавлюванню через сталеву фільтру екструдера. Для забезпечення одержання перемішаної гомогенізованої екстудованої маси загальний потік перед головкою екструдера розщеплювався на окремі закручені в пучок струмені таким чином, щоб відбувався більш рівномірний розподіл змішаного матеріалу перед фільтрою. Крім того, введення полімерного сполучного розпиленням дозволяє отримати високі фізико-механічні властивості виробів, що випускаються. Полімер повинен охопити всю поверхню деревної частки, проникнути в її пори й тим самим забезпечити щільну молекулярну взаємодію між деревиною й полімером. Інтенсифікувати процес змочування за рахунок підвищення температури в екструдері складно внаслідок небезпеки теплової деструкції деревини, полімеру й загоряння суміші (при температурі більше 200 °С. Враховуючи температуру термічного розкладу деревини, розглянуто процес прогрівання деревинно-полімерного пакета в інтервалі – 160–200 °С.

Першу серію дослідів здійснено класичним експериментом з метою визначення впливу співвідношення вторинного ПЕТФ і деревинного наповнювача на властивості ДПК. Склад деревинно-полімерної композиції і умови проведення експерименту наступні:

- полімер:деревина (борошно) – 40 % : 60 %;
- полімер:деревина (борошно) – 20 % : 80 %;
- полімер : деревина (борошно) – 25 % : 75 % ;
- температура нагріву робочих поверхонь пресформ 160 °С;
- температура нагріву робочих поверхонь пресформ 180 °С;
- тривалість витримки 300 секунд при товщині матеріалу 4 мм.

Рівні й інтервали змінювання факторів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Рівні й інтервали змінювання факторів

Назва фактора	Рівні змінювання фактора			Інтервал змінювання фактора
	нижній (–1)	основний (0)	верхній (+1)	
Вміст вторинного ПЕТФ, %	40	25	20	20
Вміст деревинних частинок, %	60	75	80	15
Температура нагріву робочих поверхонь пресформ, °С	160	180	200	20
Тривалість витримки, секунд при товщині матеріалу 4 мм	300	300	300	0

Одержаний деревопласт за фізичними і механічними властивостями займає проміжне положення між деревом і пластмасою. Тому критеріями оцінювання якості ДПК обрано такі показники: щільність, тимчасовий опір, модуль пружності при розтягуванні, опір вигину, модуль пружності при вигині, відносне подовження при розтягуванні. Випробування одержаного деревопласту щодо вищеперелічених

показників проводилось на устаткуванні, яке знаходиться у машинному залі кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Отримані показники фізико-механічних властивостей полімер-деревного композиту, а також стандартні значення показників за технічними умовами наведені в табл. 2, 3.

Таблиця 2 – Температура нагріву робочих поверхонь пресформ 160 °С

Назва показника	Стандартне значення показника	Співвідношення вмісту полімер-деревних матеріалів		
		полімер:деревина 40 % : 60 %	полімер:деревина 20 % : 80 %	полімер:деревина 25 % : 75 %
Щільність [кг/дм ³]	1,0–1,4	0,8	0,9	0,92
Тимчасовий опір [МПа]	15–50	12	12,3	14
Модуль пружності при розтягуванні [GPa]	4–8	2,8	2,9	2,94
Опір вигину [МПа]	25–60	20	22	21
Модуль пружності при вигині [GPa]	3–6	1,5	2,9	2,7
Відносне подовження при розтягуванні [%]	0,5–1,0	0,1	0,15	0,12

Таблиця 3 – Температура нагріву робочих поверхонь пресформ 180 °С

Назва показника	Стандартне значення показника	Співвідношення вмісту полімер-деревних матеріалів		
		полімер:дереви на 40 % : 60 %	полімер:дереви на 20 % : 80 %	полімер:дереви на 25 % : 75 %
Щільність [кг/дм ³]	1,0–1,4	0,9	0,96	1,2
Тимчасовий опір [МПа]	15–50	11	14	17,3
Модуль пружності при розтягуванні [GPa]	4–8	2,9	3,0	7,2
Опір вигину [МПа]	25–60	23	22	30
Модуль пружності при вигині [GPa]	3–6	1,5	3,1	4
Відносне подовження при розтягуванні [%]	0,5–1,0	0,1	0,75	0,62

За рахунок підвищення щільності від 0,800 до 1,000 кг/м³, температури від 160 до 180 °С показники міцності ДПК зростають при співвідношенні вмісту полімер-деревних матеріалів 20 % : 80 %, і оптимальних значень набувають при співвідношенні вмісту полімер-деревних матеріалів 25 % : 75 %.

Із підвищенням щільності межа міцності під час статичного згинання зростає внаслідок збільшення кількості деревинних частинок на одиницю об'єму досліджуваного матеріалу. Із підвищенням температури від 160 до 180 °С термопластичному полімеру надається така енергія активації, за якої він проникає у капілярно-пористу структуру деревинних частинок, утворюючи на їх поверхні плівку, яка придатна для їхнього якісного склеювання. Окрім того, за таких умов розплав розтікається по всьому об'єму деревопласту із утворенням композиту з однорідними фізико-механічними властивостями.

Внаслідок високої межі міцності на розрив, межі міцності при зсуві і показниках жорсткості, деревно-полімерні композити виявилися на рівні кращих показників для інших типів матеріалів на деревній основі, а в загальному поєднанні їх характеристики перевищують дані для всіх інших типів вироблених матеріалів. Найкращий показник – волого поглинання, як зміна ваги при зануренні у воду на 24 години – максимум 1 % проти 40 % у деревних плит. За зовнішнім виглядом отриманий композит – деревопласт з високим вмістом деревини найбільше нагадує МДФ або тверду ДВП. Він може фарбуватися в масі або піддаватися лакофарбовій обробці звичайними фарбами і емаллями, або облицюватися синтетичними плівками або натуральним шпоном. Отриманий композиційний матеріал має виняткову стійкість до несприятливих впливів зовнішнього середовища – ультрафіолетового випромінювання, вологи, води, мінеральних розчинів, стійкий до атак мікроорганізмів і комах. Гарантія експлуатації готових виробів у зовнішніх умовах без спеціального захисту – 10–50 років. Більшість вироблених ДПТ можуть приймати в себе невелику кількість (0,1–4,0 %) вологи, не втрачаючи при цьому форми та міцності і відновлювати колишні властивості при висиханні без викривлення. На відміну від металоконструкцій ДП не підлягають корозії. ДП обробляються тими ж інструментами, що і деревина.

Процес виготовлення матеріалів з деревинно-полімерної композиції супроводжується механо-хімічною деструкцією компонентів і виділенням різних органічних летких речовин як в об'ємі композиції, так і в навколишнє середовище. Тому ми вважаємо за доцільне досліджувати ці процеси.

При термічній обробці ПЕТФ одночасно протікають реакції агрегації й дезагрегації. До температури 200 °С відбувається виділення СО і формальдегіду. У присутності кисню повітря при протіканні реакцій окислювання можливе утворення нерозчинних зшитих продуктів. В інтервалі температур 280–340 °С утворюються діметилтерефталат, ацетальдегід.

Функціонування установки з переробки полімерних і деревинних відходів супроводжується впливом на атмосферне повітря.

Основним джерелом впливу на повітряне середовище району розміщення установки є місцеві відсмоктування від екструдера. Параметри джерел викидів наведено у табл. 4.

Таблиця 4 – Параметри джерел викидів

Но- мер дже- рела	Найме- нування джерела викиду	Кіль- кість годин робо- ти устат- куван- ня	Параметри джерела викиду		Координати на карті-схемі, м		Характеристика газових викидів на виході			Речовина	Потужність викиду		
			Ви- сота, м	Діа- метр, м	X	Y	об'єм м/с	швид- кість м/с	тем- пера- тура, °С		Кон- цент- рація мг/ м ³	г/с	т/рік
1	місцеве відсмок- тування від екструдера	7 920	11,5	0,200	1 165	1 298	0,45	14,3	30	Окис вуглецю	24,0	0,0108	0,308
										Діметил- терефталат	0,12	0,00005	0,003
										Ацеталь- дегід	6,0	0,0027	0,077
										Формаль- дегід	1,2	0,005	0,014

Для оцінки прогнозованого стану повітряного басейну в місці розташування даного об'єкта виконано розрахунок розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери відповідно до положень [4] на персональному комп'ютері з використанням програми «ПЛЕНЕР 1.25».

Розрахункові концентрації визначені з урахуванням якнайгірших метеоумов для шести швидкостей вітру і з круговим перебором напрямів вітру [4].

Для окису вуглецю, діметилтерефталату, формальдегіду проводити розрахунок розсіювання не доцільно внаслідок малих викидів.

Згідно з результатами розрахунку встановлено, що приземні концентрації при якнайгірших метеоумовах можуть становити для ацетальдегіду – від 0,004 до 0,250 ГДК_{м.р.} – гранично допустима концентрація.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Отримано екологічно безпечний матеріал для будівництва з високими фізико-механічними властивостями з екологічно чистої сировини – відходи деревообробки та відходи термопластичних полімерів без введення в прес-масу традиційних токсичних синтетичних речовин.

2. В результаті застосування розробленого способу отримання деревопласту істотно скорочуються втрати від рубання лісу, а також частково вирішується проблема утилізації полімерних побутових і промислових відходів.

3. Розроблено співвідношення вмісту полімер-деревина у деревопласті, а також спосіб їх виробництва.

4. Встановлено закономірності зміни властивостей деревопласту від співвідношення вмісту полімерного і деревного компонентів у вихідному матеріалі, які визначають фізико-механічні властивості композиту.

5. Знайдено оптимальний температурний режим формування деревопласту.

6. Розроблений полімер-деревний композит може бути використано для цивільного та промислового будівництва як конструкційні матеріали (стінові панелі, підвіконня, підлога), в меблевому виробництві для виготовлення виробів декоративного призначення, деталей меблів, у виробництві матеріалів народного споживання.

7. Визначено якісний і кількісний склад шкідливих речовин, що утворюються в результаті функціонування установки. Проведено оцінку стану повітряного середовища у місці розташування. Забруднення атмосфери в результаті функціонування установки не перевищують нормативного рівня.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фомин, В. А. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования [Текст] / В. А. Фомин, В. В. Гусев // Пластич. массы. – 2001. – № 2. – С. 46–47.
2. Веселов, А. А. Использование древесных отходов фанерного и спичечного производства [Текст] / А. А. Веселов. – М. : Лесная промышленность, 1987. – 320 с.
3. Кучеренко, О. А. Проблеми організації збирання та перероблення використаної тари і пакувальних матеріалів в Україні [Текст] / О. А. Кучеренко // Упаковка. – 1997. – № 2. – С. 8–18.
4. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий [Текст]. – Взамен СН 369-74 ; срок введения 1 января 1987 г. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – 190 с.
5. Тищенко, Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе [Текст] : Справ. изд. / Н. Ф. Тищенко. – М. : Химия, 1991. – 368 с.

Получено 04.10.2013

Е. Л. ЧУДАНОВА, В. В. ХАЗИПОВА
УМЕНЬШЕНИЕ ОТХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ДРЕВОПЛАСТА
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Получены экологически безопасные материалы для строительства с высокими физико-механическими свойствами на основе отходов древесины и вторичных термопластов. Проанализированы газовые выбросы, образующиеся при производстве древопласта.

отходы деревообработки, отходы термопластичных полимеров, древопласт

ELIZAVETA CHUDANOVA, VERA KHAZIPOVA
REDUCING WASTE IN THE DIRECTION OF GETTING WOOD PLASTIC
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Environmentally friendly building materials with high physical and mechanical properties on the basis of secondary waste wood and thermoplastics have been taken. Gas emissions from the production of wood plastic have been analyzed.

wood waste, waste of thermoplastic polymers, wood plastic

Чуданова Єлизавета Леонідівна – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка ТПВ із отриманням будівельних матеріалів.

Хазіпова Віра Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: утилізація гумових шин.

Чуданова Елизавета Леонидовна – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка ТБО с получением строительных материалов.

Хазипова Вера Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: утилизация резиновых шин.

Chudanovа Elizaveta – a student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling of solid waste to produce building materials.

Khazipova Vera – PhD (Eng.), Associate Professor, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling rubber tires.

УДК 697.004

В. Ф. ПАШКОВ, С. Е. АНТОНЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ С РУЧНОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКОЙ

Основными элементами систем отопления являются терморегуляторы и балансировочные клапаны, позволяющие уменьшить расход тепла системой отопления на 30–35 %. Но они имеют повышенное гидравлическое сопротивление. На основании экспериментальных данных показана энергетическая эффективность различных систем.

системы отопления, ручные и автоматические балансировочные клапаны, энергетическая эффективность

Перемещение теплоносителя в системах отопления осуществляется насосами, потребляющими электроэнергию. Основная часть потерь давления приходится на запорно-регулирующую арматуру, вид которой зависит от схемы.

В настоящее время в Украине применяются системы однотрубные и двухтрубные, с постоянным и переменным гидравлическим режимом, с ручной и автоматической балансировкой [1–3].

Работа выполнялась в рамках госбюджетной научно-исследовательской работы Д-1-01-13 «Организационно-экономические основы градостроительства, территориального и стратегического планирования».

Тепловой комфорт и соблюдение требований энергосбережения в помещении достигается при использовании систем отопления с автоматическим регулированием, основными элементами которых являются терморегуляторы и балансировочные клапаны. Автоматическая поддержка теплового комфорта в помещении должна обеспечиваться в рамках отклонения, которое нормируется санитарно-гигиеническими нормами [3], что свидетельствует о важности его обеспечения.

Вместе с этим только терморегуляторы позволяют максимально использовать для отопления помещений эпизодические тепlopоступления, что позволяет, в сочетании с другими средствами комплексного управления системой отопления, в осенне-весенний период экономить до 60–70 % тепловой энергии [4–6].

Вышеприведенные факты свидетельствуют о бесспорной эффективности систем с автоматическим регулированием в направлении обеспечения теплового комфорта и экономии тепловой энергии. Но вместе с этим следует обратить внимание на наличие повышенного гидравлического сопротивления в запорно-регулирующей арматуре автоматического действия, что в системах с насосной циркуляцией вызывает повышение потерь электрической мощности.

Целью данной работы является анализ энергетической эффективности систем отопления с ручным и автоматическим регулированием.

Исследования проводились на стенде «Системы регулирования микроклимата помещений» компании DANFOSS на следующих системах отопления:

- двухтрубная с постоянным гидравлическим режимом и автоматической балансировкой;
- двухтрубная с переменным гидравлическим режимом и автоматической балансировкой;
- двухтрубная с переменным гидравлическим режимом и автоматической балансировкой комбинированным клапаном АВ-QM ;
- двухтрубная с переменным гидравлическим режимом и ручной балансировкой;
- двухтрубная с постоянным гидравлическим режимом и ручной балансировкой;
- однотрубная проточно-нерегулируемая с автоматической балансировкой;

– однотрубная проточно-нерегулируемая с ручной балансировкой;

– однотрубная проточно-регулируемая с обводным участком и автоматической балансировкой.

Исследования проводились для трёх режимов работы циркуляционного насоса с частотой вращения 1 350, 1 950 и 2 420 об/мин.

При проведении эксперимента фиксировались расходы, потери давления и мощность насосов. Результаты исследований приведены на рис. 1.

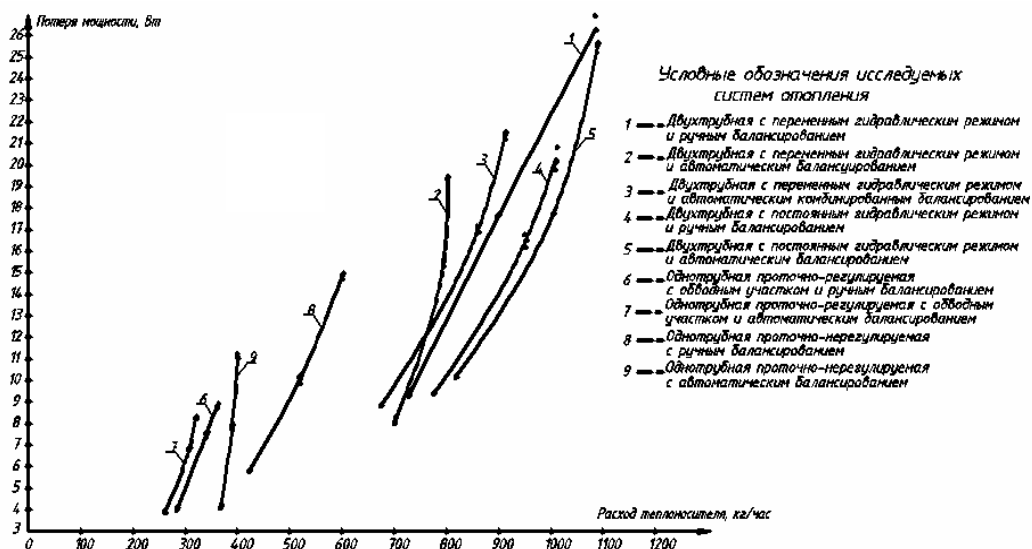


Рисунок 1 – График зависимости потерь электрической мощности от расхода для исследуемых систем отопления.

Полученные результаты позволили определить, какая из исследуемых систем отопления имеет наибольшие потери электрической мощности на свое функционирование.

Результаты эксперимента и проведенные на их основе расчеты свидетельствуют о следующем:

– самые большие величины единичных потерь электрической мощности характерны для однотрубных систем отопления;

– среди однотрубных наиболее энергозатратной по данным исследования оказалась однотрубная проточно-нерегулируемая с автоматическим балансированием клапаном АВ-QM;

– среди двухтрубных систем наибольшие величины единичных потерь электрической мощности характерны для двухтрубной системы с переменным гидравлическим режимом и автоматической балансировкой.

На графике (рис. 2) единичных потерь электрической мощности двухтрубные системы имеют средние показатели при минимальном и максимальном расходе, в то время как однотрубные системы характеризуются более выраженным контрастом – потери электрической мощности являются минимальными при малых затратах теплоносителя, а с увеличением расхода наблюдается рост единичных потерь электрической мощности.

По графику зависимости потерь мощности от расхода теплоносителя, который построен непосредственно по данным экспериментальных измерений, видно, что однотрубные системы отопления характеризуются меньшим расходом теплоносителя, проходящего через систему, при том же количестве оборотов циркуляционного насоса, что объясняется наличием более высокого гидравлического сопротивления в циркуляционном кольце. Следовательно, как было упомянуто выше, единичные потери электрической мощности у них будут более высокими, чем в двухтрубных системах. Вместе с этим для однотрубных систем характерно увеличение количества нагревательных приборов из-за наличия различных температурных напоров, что в целом делает их более материалоёмкими.

При минимальном расходе разница единичных потерь между однотрубными и двухтрубными системами по графику единичных потерь электрической мощности составляет:

$$\Delta_{1-2\min} = \frac{1,1537 - 1,1339}{1,1537} \cdot 100 \% = 1,7 \approx 2 \%, \quad (1)$$

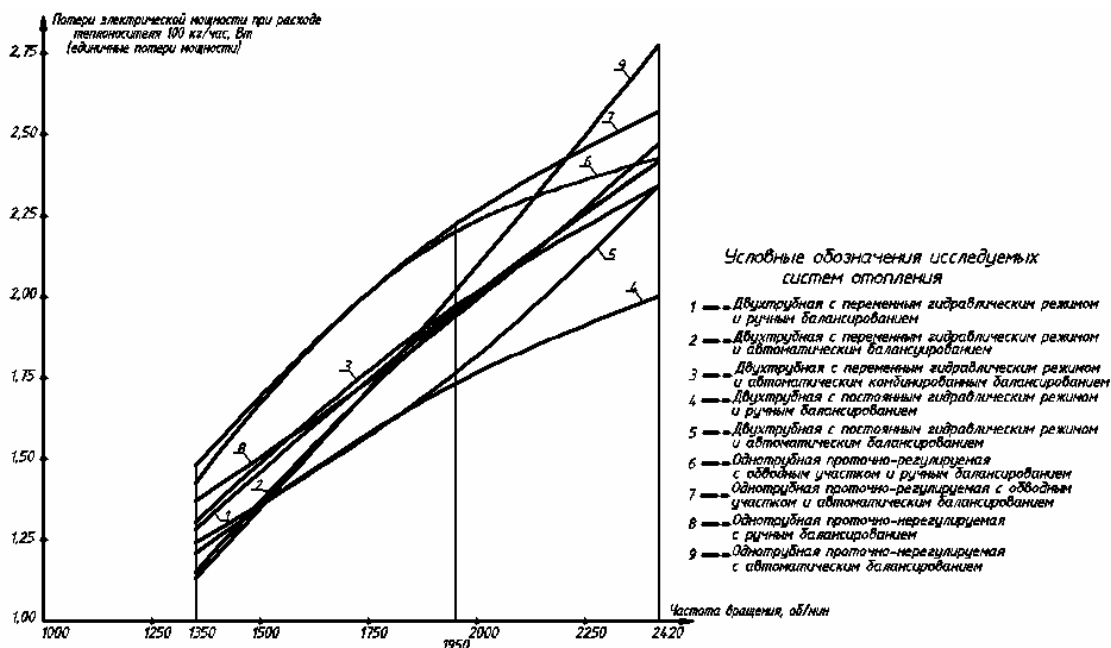


Рисунок 2 – График зависимости единичных потерь электрической мощности от частоты вращения.

а при максимальном расходе соответственно имеем:

$$\Delta_{1-2\max} = \frac{2,7779 - 2,4183}{2,7779} \cdot 100\% = 12,9 \approx 13\%. \quad (2)$$

При минимальном расходе разница единичных издержек между различными типами однотрубных составляет:

$$\Delta_{1-1\min} = \frac{1,4805 - 1,1339}{1,4805} \cdot 100\% = 23,4\%, \quad (3)$$

а при максимальном расходе соответственно имеем:

$$\Delta_{1-1\max} = \frac{2,7779 - 2,4282}{2,4282} \cdot 100\% = 14\%. \quad (4)$$

Аналогично для двухтрубных систем:

$$\Delta_{2-2\min} = \frac{1,3072 - 1,1537}{1,3072} \cdot 100\% = 11,74 \approx 12\%, \quad (5)$$

$$\Delta_{2-2\max} = \frac{2,4183 - 2,0033}{2,4183} \cdot 100\% = 17,2\%. \quad (6)$$

Наибольший перепад потерь единичной мощности наблюдается между началом отопительного сезона и расчетным минимумом температур. Наибольшая его величина приходится на однотрубную проточно-нерегулируемую систему с автоматическим балансированием, а наименьшая характерна для двухтрубной системы с постоянным гидравлическим режимом и ручной балансировкой.

ВЫВОДЫ

1. Двухтрубные системы имеют средние показатели электрической мощности при минимальном и максимальном расходе, в то время как однотрубные системы характеризуются более выраженным контрастом – затраты электрической мощности являются минимальными при малых расходах теплоносителя, а с увеличением расхода наблюдается её рост.

2. Однотрубные системы отопления характеризуются меньшим расходом теплоносителя, проходящего через систему, при том же количестве оборотов циркуляционного насоса, что объясняется более высоким гидравлическим сопротивлением в циркуляционном кольце, если единичные потери электрической мощности в этих системах будут более высокими, чем в двухтрубных.

3. Среди однотрубных систем отопления наиболее энергозатратной, по данным исследования, оказалась однотрубная проточно-нерегулируемая система с автоматическим балансированием клапаном АВ-QM.

4. Среди исследуемых двухтрубных систем отопления самые большие величины электрической мощности характерны для двухтрубной системы с переменным гидравлическим режимом и автоматическим балансированием.

5. При минимальном расходе теплоносителя разница единичных потерь между однотрубных и двухтрубных системах составляет около 2 %, а при максимальном расходе – 13 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пырков, В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика [Текст] / В. В. Пырков. – М. : ООО «Такие дела», 2010. – 304 с.
2. Отопление и вентиляция [Текст] : Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. I. Отопление / П. Н. Каменев, А. Н. Сканин, В. Н. Богословский [и др.]. – Изд. 3-е перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1975. – 483 с.
3. Пырков, В. В. Особенности современных систем водяного отопления [Текст] / В. В. Пырков. – К. : П ГП «Такие дела», 2003. – 176 с.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст]. – На заміну СНиП 2.04.05-91 ; чинний з 01 січня 2014 року. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 167 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Balancing of differential pressure in heating systems [Текст] / Danfoss. – Nordborg : Danfoss A/S, 2002. – 31 p.
6. Petitjean, R. Total hydronic balancing [Текст] / R. Petitjean. – Second edition. – Gothenburg : Tour & Andersson AB, 1994. – 530 p.

Получено 04.10.2013

В. Ф. ПАШКОВ, С. Є. АНТОНЕНКО
ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ З РУЧНИМ І
АВТОМАТИЧНИМ БАЛАНСУВАННЯМ
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Основними елементами систем опалення є терморегулятори і балансувальні клапани, що дозволяють зменшити витрати тепла системою опалення на 30–35 %. Але вони мають підвищений гідрравлічний опір. На підставі експериментальних даних показана енергетична ефективність різних систем. **системи опалювання, ручні і автоматичні клапани балансування, енергетична ефективність**

VALERY PASHKOV, SVETLANA ANTONENKO
THE ENERGY EFFICIENCY OF HEATING SYSTEMS WITH MANUAL AND
AUTOMATIC BALANCING
 Donbas National Academy of Engineering and Architecture

The basic elements of the heating system are heating thermostats and balancing valves which are help to reduce the expense of heat up to 30–35 %. But they have enhance able hydraulic resistance. On the basis of experimental data the efficiency of different heating systems with manual and automatic balancing of heating systems, manual and automatic balancing valves, and energy efficiency have been showed. **systems of heating, hand and automatic balancing valves, power efficiency**

Пашков Валерій Федорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: системи опалення – регулювання, енергоощадження, проектування.

Антоненко Світлана Євгенівна – асистент кафедри міського будівництва та господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: електрохімічне зм'якшення води, нові матеріали і устаткування при проектуванні систем опалення.

Пашков Валерий Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: системы отопления – регулирование, энергосбережение, проектирование.

Антоненко Светлана Евгеньевна – ассистент кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: электрохимическое умягчение воды, новые материалы и оборудование при проектировании систем отопления.

Pashkov Valery – PhD (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heating systems – regulation, energy saving, design.

Antonenko Svetlana – the assistant, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: electrochemical softening the waters, new materials and the equipment at designing of systems of heating.

УДК 697.32:621.18

Э. И. ДМИТРОЧЕНКОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И КОТЛОАГРЕГАТА НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Сравнительный анализ экономической эффективности проведен для двух тепловых схем когенерационных установок (КГУ) на базе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и теплогенератора на твердом топливе. Установлено, что использование уходящих газов ДВС для сжигания твердого топлива в топочной камере котла позволяет повысить экономическую эффективность предложенной КГУ за счет уменьшения затрат на твердое топливо, а также снижения платы за выбросы. А так как при сокращении расхода топлива уменьшается количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, то имеет место предотвращенный экологический ущерб. В итоге суммарная экономическая эффективность схемы А по отношению к схеме Б определена как сумма снижения годовых затрат на твердое топливо и предотвращенного экологического ущерба.

когенерационная установка, расход твердого топлива, плата за выбросы, предотвращенный экологический ущерб

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Жилищно-коммунальное хозяйство является неотъемлемой частью топливно-энергетического комплекса государства и потребляет до 30 % всего годового объема топливно-энергетических ресурсов страны [1, 2]. Поэтому одной из основных тенденций научно-технического направления в коммунальной теплоэнергетике является экономия и снижение расхода топлива при выработке теплоты, которое может быть достигнуто за счет использования когенерационных технологий. Но прежде чем сделать выбор конструкции конкретной КГУ необходимо сравнить их как энергетические, так и экономические показатели.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данная работа посвящена анализу экономической эффективности использования различных схем КГУ на базе двигателя внутреннего сгорания и котлоагрегата на твердом топливе.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения анализа предложены тепловые схемы когенерационной установки, приведенные на рис. 1. Принцип их работы описан в [3].

В качестве генераторов теплоты выбраны котлоагрегаты KRIGER мощностью 0,3; 0,5; 0,8 МВт [4] (г. Житомир, Украина), а также марки Гефест мощностью 1,8 и 2,5 МВт [5] производства ОАО «Бийский котельный завод» (Россия), использующие в качестве топлива уголь марки ЖР Донецкого угольного бассейна [6]. При этом количество вырабатываемой электрической энергии оставалось постоянным – 200 кВт. В результате исследования проведены для следующего ряда соотношений $N_T/N_g = 1,5; 2,5; 4,1; 9,4; 13,2$.

Повышение экономической эффективности предложенной КГУ (схема А) может быть достигнуто за счет уменьшения затрат на твердое топливо, а также снижения платы за выбросы.

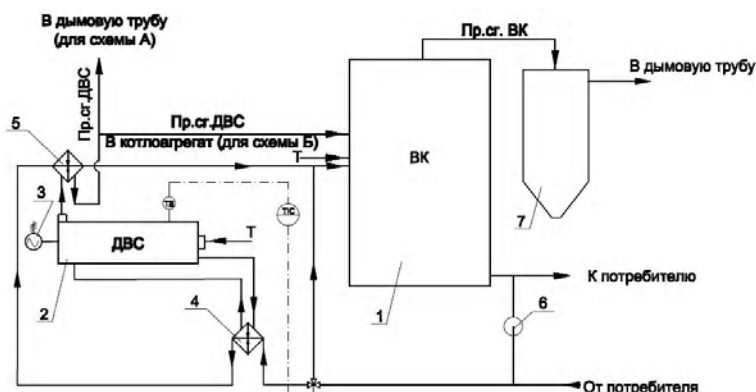


Рисунок 1 – Тепловые схемы когенерационной установки на базе двигателя внутреннего сгорания и теплогенератора с двумя утилизаторами теплоты: 1 – водогрейный котлоагрегат; 2 – двигатель внутреннего сгорания; 3 – электрогенератор; 4 – теплообменник системы охлаждения двигателя типа «вода – вода»; 5 – теплообменник охлаждения продуктов сгорания ДВС типа «газ – вода»; 6 – рециркуляционный насос; 7 – циклон; Т – подача топлива в ДВС и теплогенератор.

На расход топлива в котлоагрегате при работе когенерационных установок по предложенным схемам оказывают влияние температура воды на входе, а также количество теплоты, дополнительно внесенное в топочную камеру с продуктами сгорания дизельного топлива.

Температура воды, °С, на входе в водогрейный котлоагрегат с учетом работы когенерационной установки определяется из выражения

$$t_{cm} = \frac{G_1 \cdot t_4 + G_{ТГУ} \cdot t_2}{G_1 + G_{ТГУ}}, \quad (1)$$

где G_1 , $G_{ТГУ}$ – расход воды соответственно через утилизационные теплообменные аппараты и котлоагрегат, кг/ч;
 t_4 – температура воды на выходе из утилизационного аппарата системы охлаждения двигателя, °С;
 t_2 – температура воды на входе в котлоагрегат, °С;

Расход твердого топлива котлоагрегатом при работе по схеме А, кг/ч

$$B_{ТТ} = \frac{G_{ТГУ} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_{cm})}{Q_{H(ТТ)}^p \cdot \eta}, \quad (2)$$

где c_p – средняя массовая изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг·град);
 t_1 – температура воды на выходе из котлоагрегата, °С;
 $Q_{H(ТТ)}^p$ – низшая теплота сгорания твердого топлива, кДж/кг;
 η – КПД котлоагрегата.

При работе когенерационной установки по схеме Б необходимый расход топлива может быть рассчитан по формуле

$$B_{ТТ} = \frac{\frac{G_{ТГУ} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_{cm})}{\eta} - Q_{пр.сг. ЖТ}}{Q_{H(ТТ)}^p}, \quad (3)$$

где $Q_{пр.сг. ЖТ}$ – тепловая мощность продуктов сгорания дизельного топлива в ДВС, кДж/с.

Результаты расчета расхода топлива указанными котлоагрегатами при работе когенерационной установки по схемам А и Б приведены в таблице 1.

Следует отметить, что с увеличением мощности котлоагрегата температура воды на входе в него уменьшается и при мощности 1,8 и 2,5 МВт практически равна исходной.

Размер годовых затрат на твердое топливо определяется по формуле

$$C_{ТТ} = B_{ТТ} \cdot Ц, \quad (4)$$

Таблица 1 – Расход топлива котлоагрегатами в схемах А и Б

Мощность котлоагрегата, МВт	$G_{ТГУ}$, кг/ч	$G_{КУ}$, кг/ч	t_2 , °C	$t_{см}$, °C	t_1 , °C	η	$B_{ТТ(А)}$, кг/ч	$B_{ТТ(Б)}$, кг/ч
0,3	10 300	5 040	60	63,3	85	0,83	48,68	40
0,5	17 200	5 040	60	62,3	85	0,83	84,86	75,42
0,8	28 200	5 040	60	61,5	85	0,83	143,98	133,42
1,8	64 000	5 040	60	60,7	85	0,83	335,84	323,43
2,5	90 000	5 040	60	60,5	85	0,83	476,17	461,78

где $B_{ТТ}$ – годовой расход твердого топлива, т/год;
 C – стоимость 1 тонны, тыс. грн./т.

Результаты расчета годовых затрат на твердое топливо приведены на рис. 2.

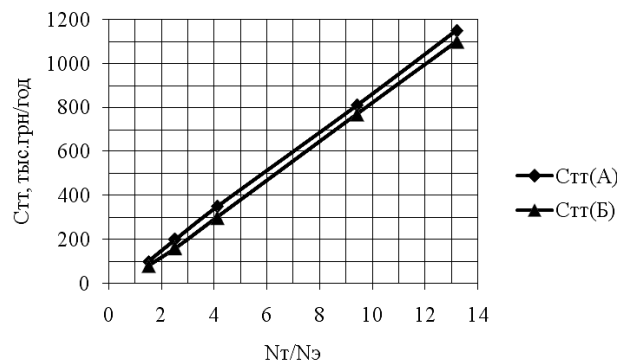


Рисунок 2 – Зависимость годовых затрат на твердое топливо ($C_{ТТ}$) при работе КГУ по схемам А и Б от соотношения $N_T/N_Э$: $C_{ТТ(А)}$ – годовые затраты на твердое топливо для схемы А когенерационной установки; $C_{ТТ(Б)}$ – годовые затраты на твердое топливо для схемы Б когенерационной установки.

Результаты расчета снижения затрат на твердое топливо, тыс. грн. / год, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Снижение годовых затрат на твердое топливо

$N_T/N_Э$	1,5	2,5	4,1	9,4	13,2
$\Delta C_{ТТ} = C_{ТТ(А)} - C_{ТТ(Б)}$, тыс. грн. / год	36	37,8	39,6	45,9	49,5

Сумма сбора за выбросы источником загрязнения окружающей среды Π_B определяется в соответствии с утвержденной методикой [7] по формуле

$$\Pi_B = \sum_{i=1}^N (M_i \cdot H_{\phi i} \cdot K_{нас} \cdot K_{\phi}), \quad (5)$$

где M_i – объем выбросов i -го загрязняющего вещества, т;
 $H_{\phi i}$ – норматив сбора за тонну i -го загрязняющего вещества, грн./т;
 $K_{нас}$ – коэффициент, учитывающий численность жителей населенного пункта;
 K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий народно-хозяйственное значение населенного пункта.

Результаты расчетов суммы сбора за выбросы при работе когенерационной установки по схемам А и Б при различных соотношениях $N_T/N_Э$ приведены на рис. 3.

Как и следовало ожидать, с увеличением мощности используемого в схеме теплогенератора, а следовательно, и увеличением количества выбросов сумма сбора за них возрастает. В схеме Б наблюдается уменьшение размера платы за выбросы за счет снижения расхода твердого топлива.

Так как в результате использования продуктов сгорания двигателя в теплогенераторе для сжигания твердого топлива уменьшилось количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, то, следовательно, имеет место предотвращенный экологический ущерб, величины которого приведены в таблице 3.

Суммарная экономическая эффективность схемы Б по отношению к схеме А при различных соотношениях $N_T/N_Э$ представлена в таблице 4.

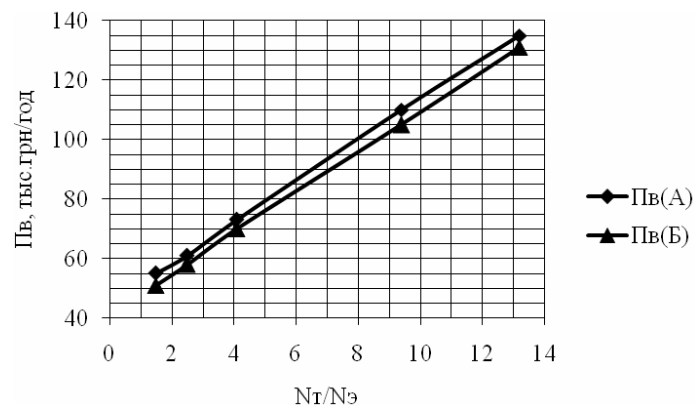


Рисунок 3 – Зависимость суммы сбора за выбросы (P_v) при работе КГУ по схемам А и Б от соотношения N_t/N_{Σ} : $P_v(A)$ – сумма сбора за выбросы в зависимости от соотношения N_t/N_{Σ} для схемы А; $P_v(B)$ – сумма сбора за выбросы в зависимости от соотношения N_t/N_{Σ} для схемы Б.

Таблица 3 – Предотвращенный экологический ущерб

N_t/N_{Σ}	1,5	2,5	4,1	9,4	13,2
$\Delta P_B = P_{B(A)} - P_{B(B)}$, тыс. грн. / год	3,1	3,2	3,4	4	4,2

Таблица 4 – Суммарная экономическая эффективность при работе КГУ по схеме Б по отношению к схеме А

N_t/N_{Σ}	1,5	2,5	4,1	9,4	13,2
$\Sigma = \Delta P_B + \Delta C_{\text{ТТ}}$, тыс. грн. / год	39,1	41,0	43,0	49,9	53,7

ВЫВОДЫ

По результатам анализа экономической эффективности предложенных когенерационных установок для различных соотношений N_t/N_{Σ} установлено, что предотвращенный экологический ущерб за счет сокращения количества вредных выбросов при использовании продуктов сгорания ДВС в топочной камере теплогенератора составил от 3,1 до 4,2 тыс. грн. / год, а экономический эффект за счет сокращения затрат на твердое топливо достигает 49,5 тыс. грн. / год. При этом суммарный экономический эффект от внедрения предложенной тепловой схемы при соотношении N_t/N_{Σ} в диапазоне от 1,5 до 13,2 изменяется в пределах от 39,0 до 53,7 тыс. грн. / год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрийчук, Н. Д. Пути совершенствования систем теплоснабжения [Текст] : монография / Н. Д. Андрийчук, В. И. Соколов, А. А. Коваленко. – Луганск : Изд-во Восточноукраинского нац. ун-та, 2003. – 244 с.
2. Лук'янов, О. В. Деякі аспекти теплопостачання населених пунктів в Україні [Текст] / О. В. Лук'янов // Коммунальное хозяйство городов. – К. : «Техника», 2004. – Вып. 42. – С. 118–120.
3. Дмитроченкова, Э. И. Анализ эксергетической эффективности когенерационных установок на базе двигателя внутреннего сгорания и котлоагрегата на твердом топливе [Текст] / Э. И. Дмитроченкова // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2013. – Том 9, номер 2. – С. 97–104. – ISSN 1993-3495.
4. Котельное оборудование ТД «KRIGER» [Текст] : каталог. – Житомир, 2010. – 6 с.
5. Котельное оборудование ОАО «Бийский котельный завод» [Текст] : каталог. – Бийск, 2009. – 16 с.
6. Роддатис, К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности [Текст] / К. Ф. Роддатис. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
7. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами [Текст] / Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды. – Л. : Гидрометеоздат, 1986. – 183 с.

Получено 04.10.2013

Е. І. ДМИТРОЧЕНКОВА

АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК
НА БАЗІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ТА КОТЛОАГРЕГАТУ НА
ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Порівняльний аналіз економічної ефективності проведено для двох теплових схем когенераційних установок (КГУ) на базі двигуна внутрішнього згорання і теплогенератора на твердому паливі. Встановлено, що використання газів, які відходять від ДВЗ, для спалювання твердого палива в топковій камері котлоагрегату дозволяє підвищити економічну ефективність запропонованої КГУ за рахунок зменшення витрат на тверде паливо, а також зниження плати за викиди. А оскільки при скороченні витрат палива зменшується кількість забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу, то має місце запобіжний екологічний збиток. У результаті сумарна економічна ефективність схеми А по відношенню до схеми Б визначена як сума зниження річних витрат на тверде паливо і запобіжного екологічного збитку.

когенераційна установка, витрата твердого палива, плата за викиди, запобіжний екологічний збиток

ELLA DMITROCHENKOVA

ANALYSIS OF ECONOMIC EFFICIENCY OF COGENERATION PLANT ON THE
BASIS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND FOR SOLID FUEL
BOILER

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The comparative analysis of economic efficiency for two thermal charts of cogeneration plants on the base of an internal combustion engine and for solid fuel boiler have been carried out. It has been set that the use of get-away gases of combustion engine for incineration of hard fuel in the fire-box chamber of caldron allows to promote economic efficiency of the offered cogeneration plant due to diminishing of expenses on a hard fuel, and also declines of paying for extras. And because the amount of contaminants, entering atmosphere diminishes at reduction of expense of fuel, the prevented ecological harm takes place. In the total economic efficiency of chart A in relation to a chart Б certain as a sum of decline of annual expenses on a hard fuel and prevented ecological harm.

cogeneration plant, expense of hard fuel, paying for extras, prevented ecological harm

Дмитроченкова Елла Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності систем тепlopостачання за рахунок використання когенераційних технологій

Дмитроченкова Элла Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности систем теплоснабжения за счет использования когенерационных технологий.

Dmitrochenkova Ella – PhD (Eng.), an Associate Professor, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: increase of efficiency of the systems of heat supply due to the use of cogeneration technologies.

УДК 697.34

С. П. ВЫСОЦКИЙ ^а, А. В. КОНДРЫКИНСКАЯ ^б

^а Автомобильно-дорожный институт ДВНЗ «ДонНТУ», ^б Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ЭКОНОМИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ЭМИССИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ПРИ ПОДОГРЕВЕ ВОДЫ

Приведены параметры работы конденсационных водогрейных котлов, оборудованных массо- и теплообменной насадкой и встроенной под насадкой камерой сгорания. Уменьшение времени пребывания продуктов горения топлива в зоне высоких температур до 0,3 секунды и захлаживание продуктов сгорания за счет их орошения водой после насадки обеспечивает снижение генерации оксидов азота и улучшает условия отбора тепла от продуктов сгорания топлива. Получены экспериментальные данные и аналитические уравнения, характеризующие степень генерации оксидов азота (NO_x) от времени пребывания продуктов сгорания топлива в зоне высоких температур и от избытка воздуха. Выбросы NO_x и окиси углерода при работе исследуемых котлов меньше по сравнению с международными нормами.

конденсационный котел, насадка, камера сгорания, эмиссия загрязнений, окись углерода, окислы азота

Исчерпание запасов и увеличение стоимости природного газа вызывает необходимость поиска и внедрения технических решений, которые обеспечивают снижение его потребления за счет повышения коэффициента использования топлива [1, 2]. Одним из эффективных и относительно простых решений является применение контактных экономайзеров на эксплуатируемых котлах и контактных водонагревателей в системах подогрева воды для отопления. Работа таких экономайзеров и котлов основана на использовании тепла, которое отдает водяной пар при конденсации дополнительно к обычному нагреву воды за счет теплообмена горячих дымовых газов с подогреваемой водой.

При сжигании в топках котлов природного газа по реакции: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ на каждый м^3 сгораемого природного газа образуется 1,607 кг паров воды. При конденсации паров воды утилизируется скрытая теплота парообразования, в результате чего отбор тепла от сгораемого топлива увеличивается на 4,29 МДж/ м^3 . Вследствие этого расход природного газа сокращается на 12,8 % (при теплотворной способности природного газа 33,49 МДж/ м^3). С учетом конвективного теплообмена степень утилизации тепла дымовых газов (т. е. эффективности использования топлива) увеличивается на 15–20 % (в зависимости от температуры орошающей воды).

Следует учитывать, что степень конденсации паров воды из дымовых газов зависит от температуры точки росы, при которой начинается конденсация. Последняя существенно зависит от содержания углекислого газа в дымовых газах. На рис. 1 показана полученная нами зависимость между содержанием CO_2 и обратной величиной абсолютной температуры точки росы.

Учитывая то, что расчет КПД установок рассчитывают по низшей теплоте сгорания, в конденсационных котлах используется вся низшая теплота сгорания (100 %) плюс теплота конденсации водяного пара (8–9 %). Противоречие законам сохранения энергии устраняется, если расчет вести по высшей теплоте сгорания топлива.

Существенное упрощение технологии получения подогретой воды для отопления реализовано в котлах СВТ (рис. 2). В указанных котлах для исключения насыщения подогреваемой воды углекислым газом осуществлен двухконтурный подогрев воды: в первом контуре часть потока направляется через насадку, на которой подогревается до температуры близкой к 100 °С, а другая часть потока во втором контуре проходит по кольцевому зазору и смешивается с водой, подогретой в первом контуре в нижней части в аккумуляторном баке.

© С. П. Высоцкий, А. В. Кондрыкинская, 2013

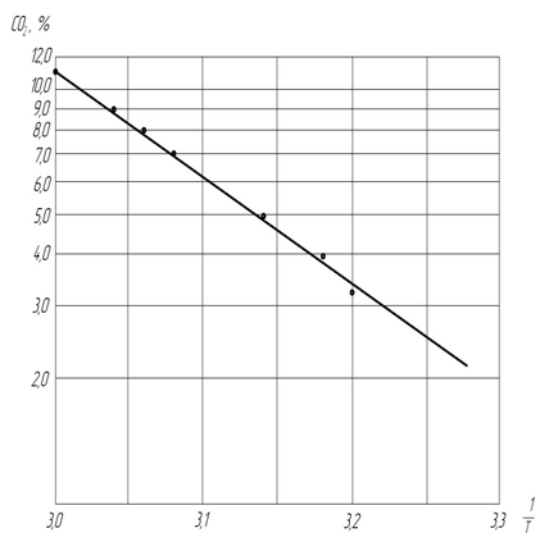


Рисунок 1 – Зависимость между содержанием CO_2 и обратной величиной абсолютной температуры точки росы.

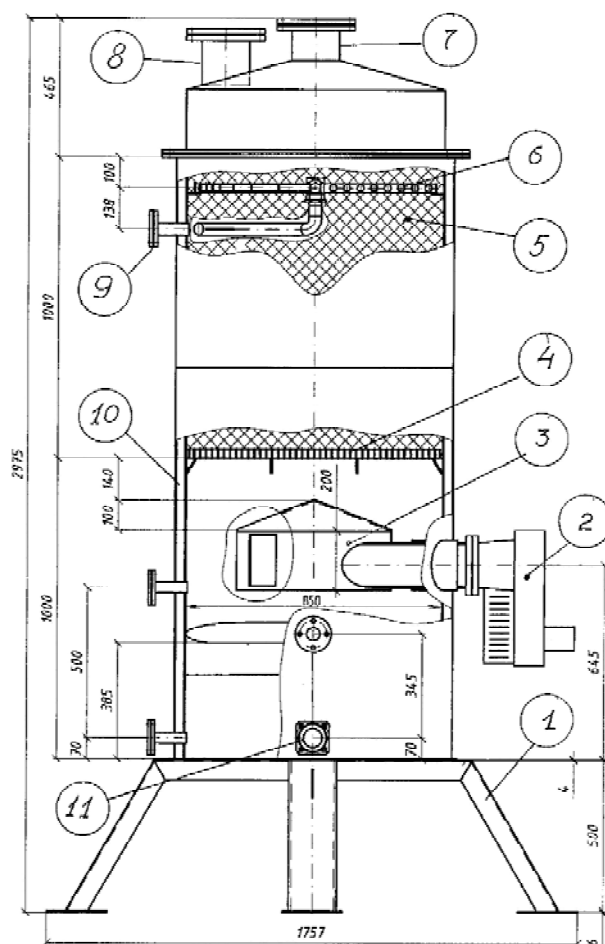


Рисунок 2 – Водогрейный котел СВТ: 1 – опора; 2 – горелочное устройство; 3 – камера сгорания; 4 – поддерживающая решетка; 5 – насадка из колец Рашига; 6 – распределительное устройство для подачи подогретой воды; 7 – штуцер отвода дымовых газов; 8 – штуцер с противозрывной мембраной; 9 – штуцер подвода подогретой воды; 10 – кольцевой зазор байпасного потока воды; 11 – штуцер отвода подогретой воды.

Регулирование температуры воды поступающей в теплосеть осуществляется за счет изменения соотношения потоков подогреваемой воды на насадке и в кольцевом зазоре. Водогрейный котел не требует установки дымососа и подготовки подпиточной воды. Подпиточная вода забирается непосредственно из водопровода.

Учитывая отсутствие шума и вибрации, котел может быть установлен на крыше зданий с обеспечением децентрализованного теплоснабжения.

Водогрейные котлы, установленные в коммунальных котельных, являются существенным источником загрязнения атмосферы в жилых зонах [3]. В [4, 5] приводятся данные, показывающие, что степень генерации NO_x зависит от температуры.

В водогрейных котлах серии СВТ за счет сокращения времени пребывания продуктов сгорания природного газа в зоне высоких температур существенно сокращается генерация оксидов азота (NO_x).

На рис. 3 показано изменение концентрации NO_x в продуктах сгорания природного газа в зависимости от времени нахождения дымовых газов в камере сгорания и избытка воздуха λ . Указанные зависимости описываются формулами:

для стехиометрического расхода воздуха ($\lambda = 1$)

$$\frac{C_0 - C}{C_0} = 0,86 \cdot \exp(-2,1\tau); \quad (1)$$

для избытка воздуха ($\lambda = 0,95$)

$$\frac{C_0 - C}{C_0} = 1,03 \cdot \exp(-10,8\tau); \quad (2)$$

где C_0 – генерация NO_x при времени контакта > 1 мин;

C – генерация NO_x при времени контакта, τ , сек.

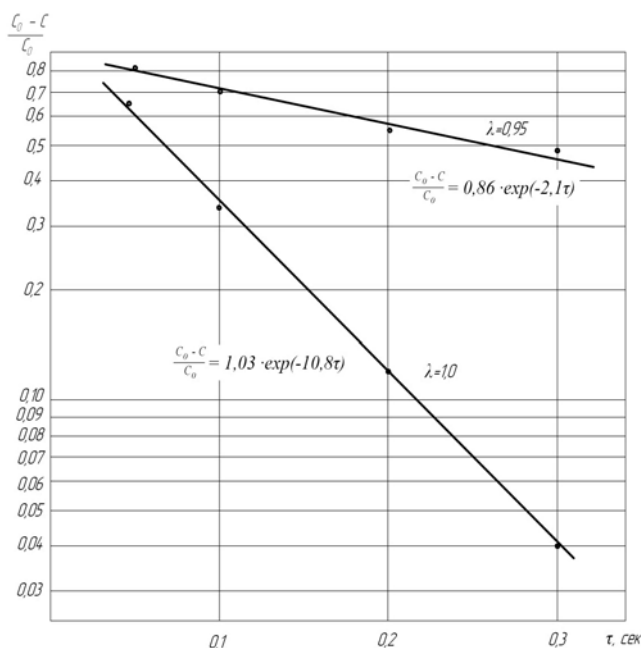


Рисунок 3 – Зависимость степени генерации NO_x от избытка воздуха « λ » и времени нахождения продуктов сгорания природного газа « τ » в зоне высоких температур.

По приведенным данным, основное влияние на эмиссию NO_x оказывает время нахождения дымовых газов в зоне высоких температур. При увеличении времени пребывания $> 0,3$ сек наиболее существенно влияние избытка воздуха (λ).

При сжигании $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ природного газа количество испарившейся воды по тепловому балансу составит 110 кг/ч . Влажность газов увеличивается в 27,5 раза (с 1,83 до 50,30 %). Это, соответственно, обеспечивает увеличение коэффициента теплоотдачи от дымовых газов.

Применение водогрейных котлов серии СВТ обеспечивает существенное улучшение экологических показателей – снижение генерации оксидов углерода (CO) и оксидов азота (NO_x). Значения NO_x и CO в соответствии с нормами «Голубой ангел», Гамбургскими и данными испытаний водогрейных котлов равны, соответственно, 55 и 40; 23 и 18; 20 и 18 мг/кВт отпущенного тепла [6].

Использование контактных аппаратов, загруженных массо- и теплообменной насадкой с удельной поверхностью до $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$, позволяет значительно интенсифицировать процессы переноса тепла и сократить расходы топлива как на существующих котельных при установке в них контактных экономайзеров, так и на вновь сооружаемых котельных при установке контактных водонагревателей серии СВТ.

ВЫВОДЫ

1. Применение конденсационных котлов обеспечивает существенное улучшение экологических и экономических показателей.
2. Показано влияние доли углекислого газа на повышение температуры точки росы. Обратная величина абсолютной температуры точки росы уменьшается пропорционально логарифму доли углекислого газа в продуктах горения топлива.
3. Определены аналитические зависимости степени снижения генерации NO_x от времени нахождения продуктов горения в зоне высоких температур и избытка воздуха.
4. При превышении времени пребывания продуктов горения в зоне высоких температур более 0,2–0,3 сек основное влияние на генерацию NO_x оказывает избыток воздуха в зоне горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Про теплопостачання [Текст] : Закон України від 2 червня 2005 року N 2633-IV // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2005. – № 28. – С. 1151–1166.
2. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації [Текст] / А. А. Долінський, Б. І. Басок, Є. Т. Базєєв, І. А. Піроженко. – Київ : НАН України, 2007. – 837 с.
3. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами [Текст]. Том 1 / Український науковий центр технічної екології. – Донецьк : УкрНТІ, 2004. – 184 с.
4. Marty, Eric. Le reduction selective non catalytique des oxydes d'azote [Текст] / Eric Marty, Gerard Henri Martin // Cedi «Rene Navarre». – 1997. – BP № 3. – PP. 4–14.
5. Kramlich, J. C. Nitrous Oxide Behaviour in the Atmosphere and in Combustion and Industrial Systems [Текст] / J. C. Kramlich, W. P. Linak // Prog. Energ. Com. Sci. – 1994. – Vol. 20. – P. 149–202.
6. Nitrogen oxides (NO_x). Why and how they are controlled [Текст] / Clean Air Technology Center. – North Carolina : [б. и.], 1999. – 46 p.

Получено 04.10.2013

С. П. ВИСОЦЬКИЙ^а, А. В. КОНДРИКІНСЬКА^б ЕКОНОМІЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ І ЕМІСІЯ ЗАБРУДНИКІВ ПРИ ПІДІГРІВАННІ ВОДИ

^а Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», ^б Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Наведені параметри роботи конденсаційних водогрійних котлів, обладнаних масо- та теплообмінною насадкою із вбудованою під насадкою камерою згорання. Зменшення тривалості перебування продуктів горіння палива в зоні високих температур до 0,3 сек та заохолодження продуктів за рахунок їх зрошування водою після насадки забезпечує зниження генератії оксидів азоту та покращує умови відбору тепла від продуктів згорання палива. Отримані експериментальні дані та наведені аналітичні рівняння, що характеризують ступінь генератії оксидів азоту у водогрійних котлах СВТ залежно від тривалості перебування палива в зоні високих температур та надлишку повітря. Емісія NO_x та окислу вуглецю при роботі досліджуваних котлів менша порівняно з міжнародними нормами.

конденсаційний котел, насадка, камера згорання, емісія забруднень, окис вуглецю, окисли азоту

SERGEY VYSOTSKY ^a, ANNA KONDRYKINSKAYA ^b

NATURAL GAS ECONOMY AND POLLUTANT EMISSION BY WATER HEATING

^a Automobile and Road Technical Institute DonNTU, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Condensing water-heating boilers parameters, which arranged by mass and heat-exchange Rashig rings (packing) have been given. The stay time of fuel burning products lessening in high temperature zone 0,3 sec and burning products by water dispersion cooling provides NO_x emission reduction and heat exchange improvement. Experimental data and analytical equation described NO_x generation in dependence from stay time fuel burning product in high temperature zone and air surplus have been obtained. The investigation of water-heating condensation boilers shows that NO_x and carbon oxide emission less then international indices.

condensing water-heating boilers, packing, burning furnase, pollution emission, carbon oxide, NO_x

Висоцький Сергій Павлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Автомобільно-дорожнього інституту ДВНЗ «ДонНТУ». Наукові інтереси: енергоощадження, системи очищення води, теплофікації, системи очищення газових викидів.

Кондрыкінська Анна Вікторівна – магістр, асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсощадження.

Высоцкий Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Автомобильно-дорожного института ДВУЗ «ДонНТУ». Научные интересы: энергосбережения, системы очистки воды, теплофикации, системы очистки газовых выбросов.

Кондрыкинская Анна Викторовна – магистр, ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

Vysotsky Sergey – DSc (Eng.), Professor, the Head of Ecology and Emergency management Department, Automobile and Road Technical Institute DonNTU. Scientific interests: energy-savings, water purification system, industrial heating, pollution abatement system.

Kondrykinskaya Anna – a master's degree, graduate student, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy-savings.

УДК 621.355:541.135

В. В. НАЗАРОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТА С ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

В статье рассматриваются проблемы выбора критериев подобия для описания и моделирования выделения загрязняющих веществ при электрохимических операциях переработки из растворов электролитов с органическими добавками. Приведены результаты теоретических исследований по определению факторов, влияющих на интенсивность массопереноса из растворов электролитов, а также алгоритм определения критериев подобия процесса массопереноса из растворов с поверхностно-активными веществами. Представлен критерий подобия, отражающий косвенное влияние органических веществ в составе раствора на процесс выделения загрязняющих веществ и характеризующий совместное влияние на процесс массопереноса концентрации органической добавки и способности данного органического вещества к адсорбции/десорбции.

эмиссия, выделение вредных веществ, электрохимические операции, раствор электролита, органические добавки, поверхностно-активные вещества, критерии подобия, моделирование

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Во многих технологических процессах применяются сооружения открытого типа (резервуары, ванны), в которых используются растворы веществ, загрязняющих воздух рабочей зоны и окружающую среду. Процессы, протекающие в электрохимических ваннах при свинцевании, никелировании, хромировании, меднении, электрорафинировании металлов характеризуются сложностью и вклад в формирование эмиссии вносит испарение, унос пузырьками газов, унос в объеме пузырьков (при перемешивании воздухом и выделении газов на электродах) [1–3]. Сложность протекающих процессов затрудняет их физическое моделирование и требует изучения и учета всех параметров, влияющих на выделение загрязняющих веществ.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В общем виде выделение загрязняющих веществ из раствора электролита может быть охарактеризовано как массоперенос, зависящий от параметров технологического процесса и свойств раствора. Сложность взаимосвязей технологических условий, параметров оборудования и физико-химических свойств будут определять гидродинамику процесса в электрохимической ванне, где имеют место двухфазные потоки (газ-жидкость). Гидродинамика, в свою очередь будет определять величины таких параметров как скорость потока (V_L), коэффициент массопереноса K_L , объемный коэффициент массопереноса $K_L a$, площадь поверхности контакта фаз (a), движущая сила процесса массопереноса (ΔC), газосодержание дисперсионной среды (ϵ), определяющие величину интенсивности выделения вредных веществ [4–6]. В критериальных уравнениях, описывающих процессы переноса в таких системах, для обеспечения подобия применяются критерий Ре, критерий Вебера, критерий Шмидта и другие, учитывающие взаимное влияние на процесс массопереноса скорость течения жидкости и скорость всплытия и диаметр пузырька, плотность, вязкость, поверхностное натяжение [7–9].

Однако результаты проведенного теоретического исследования массообмена и других параметров двухфазных потоков в присутствии добавок органических веществ, в особенности ПАВ [10–11],

а также экспериментальной проверки [12] свидетельствуют о необходимости включения в критериальное уравнение, описывающее массообмен в присутствии различных органических добавок, критериями подобия, которые будут учитывать влияние ПАВ как на гидродинамику потока (изменение скорости всплытия пузырьков в присутствии ПАВ, время жизни пузырька, размер пузырька и т. д.), так и на процессы массопереноса, состояние межфазной границы, толщину пленки, химический состав пленки, уносимой в виде аэрозоля в результате капельного уноса). Согласно [4] в качестве параметров, учитывающих такое влияние, могут использоваться концентрация ПАВ (C), предельная адсорбция (Γ), константа адсорбции (K).

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На основании анализа литературных данных [4–6, 10–11], а также собственных исследований [12] были выбраны факторы, которые влияют на выделения вредных веществ при электрохимических операциях в случае, когда в состав рабочего раствора входят органические вещества.

Параметрами, которые характеризуют органические вещества, являются: поверхностное натяжение, (σ), кг/с²; предельная адсорбция вещества (Γ), моль/м²; постоянная адсорбции (K), м³/моль и концентрация органического вещества ($C_{ПАВ}$), моль/м³.

Для определения критериев подобия, описывающих влияние органических веществ, был использован метод анализа размерностей [13–14]. Для записи матрицы размерности расположим основные параметры в следующей последовательности в таблице.

Таблица – Матрица размерностей

	σ	U_b	ρ	μ	Γ	K	C	d
M	1	0	1	1	0	0	0	0
L	0	1	–3	–1	–2	3	–1	1
T	–2	–1	0	–1	0	0	0	0
n	0	0	0	0	1	–1	1	0

Примечание: σ – поверхностное натяжение; U_b – скорость; ρ – плотность; μ – вязкость; Γ – предельная адсорбция; K – константа адсорбции; C – концентрация ПАВ; d – диаметр пузырька. M – размерность массы; L – размерность длины; T – размерность времени; n – размерность количества вещества.

На основании представленных данных имеем ранг матрицы размерностей $\nu = 4$. При числе основных параметров $n = 8$ получаем число безразмерных комплексов $k = n - \nu = 8 - 4 = 4$.

Общее выражение для безразмерного отношения представим в виде степенного одночлена:

$$\Pi = \sigma^{X_1} \times U_b^{X_2} \times \rho^{X_3} \times \mu^{X_4} \times \Gamma^{X_5} \times K^{X_6} \times C^{X_7} \times d^{X_8}. \quad (1)$$

Пользуясь матрицей размерностей (табл.) определим размерность произведения:

$$\begin{aligned} \text{Dim}(\Pi) = & (M^1 \cdot L^0 \cdot T^{-2} \cdot n^0)^{X_1} \times (M^0 \cdot L^1 \cdot T^{-1} \cdot n^0)^{X_2} \times (M^1 \cdot L^{-3} \cdot T^0 \cdot n^0)^{X_3} \times \\ & \times (M^1 \cdot L^{-1} \cdot T^{-1} \cdot n^0)^{X_4} \times (M^0 \cdot L^0 \cdot T^0 \cdot n^1)^{X_5} \times (M^0 \cdot L^3 \cdot T^0 \cdot n^{-1})^{X_6} \times \\ & \times (M^0 \cdot L^{-1} \cdot T^0 \cdot n^{-1})^{X_7} \times (M^0 \cdot L^1 \cdot T^0 \cdot n^0)^{X_8}. \end{aligned} \quad (2)$$

С учетом свойств показательной функции:

$$\text{Dim}(\Pi) = M^{(X_1 + X_3 + X_4)} \times L^{(X_2 - 3X_3 - X_4 - 2X_5 + X_6 - X_7 + X_8)} \times T^{(-2X_1 - X_2 - X_4)} \times n^{(X_5 - 6 + X_7)}. \quad (3)$$

По условию безразмерности данного произведения показатели степени должны быть равны 0.

$$X_1 + X_3 + X_4 = 0.$$

$$X_2 - 3X_3 - X_4 - 2X_5 + X_6 - X_7 + X_8 = 0.$$

$$2X_1 - X_2 - X_4 = 0.$$

$$X_5 - X_6 + X_7 = 0.$$

Система имеет 4 уравнений с 8 неизвестными.

Для первого решения независимых безразмерных комбинаций выбираем

$$X_8 = X_4 = X_6 = X_7 = 0.$$

Для значения второго безразмерного комплекса Π_2 выбираем

$$X_6 = X_4 = X_8 = X_7 = 0.$$

Для третьего безразмерного комплекса Π_3 :

$$X_7 = X_4 = X_8 = X_6 = 0.$$

Для четвертого безразмерного комплекса Π_4 :
 $X_4 = X_7 = X_8 = X_6 = 0$.

$$\Pi_1 = We = \frac{\rho U^2 d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\sigma}; \quad (4)$$

$$\Pi_2 = \frac{\rho U^2 K\Gamma}{\sigma}; \quad (5)$$

$$\Pi_3 = \frac{\rho U^2 C_{\text{ПАВ}}}{\sigma\Gamma}; \quad (6)$$

$$\Pi_4 = Ca = \frac{U_{\text{н\ddot{y}3}} \mu}{\sigma}. \quad (7)$$

В результате тождественных преобразований безразмерных комплексов получим следующие критерии подобия:

$$\Pi_2^* = \frac{\Pi_1}{\Pi_4} = Re = \frac{\rho U d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\mu}; \quad (8)$$

$$\Pi_3^* = \frac{\Pi_2}{\Pi_3} = \frac{K\Gamma^2}{C_{\text{ПАВ}}} \quad (9)$$

В результате получены четыре критерия подобия, учитывающие влияние поверхностно-активных веществ:

$$We = \frac{\rho U^2 d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\sigma}; \quad (10)$$

$$Ca = \frac{U_{\text{н\ddot{y}3}} \mu}{\sigma}; \quad (11)$$

$$Re = \frac{\rho U d_{\text{н\ddot{y}3}}}{\mu}; \quad (12)$$

$$N = \frac{K\Gamma^2}{C_{\text{ПАВ}}}. \quad (13)$$

Можем записать:

$$Sh = a \cdot We^b \cdot Ca^c \cdot Re^d \cdot N^e, \quad (14)$$

где Sh – критерий Шервуда (Нуссельта диффузионного), характеризующий обмен вещества на границе фаз;

Re – критерий Рейнольдса, отношение сил инерции, действующих в потоке к силам вязкости;

We – критерий Вебера, характеризующий отношение сил инерции жидкости к поверхностному натяжению;

Ca – число капиллярности, отражает соотношение между вязким трением и поверхностным натяжением;

$N = \frac{K\Gamma^2}{C_{\text{ПАВ}}}$ – новый критерий, полученный впервые на основании анализа размерностей, характеризует зависимость между адсорбционной способностью ПАВ и концентрацией ПАВ в растворе.

ВЫВОДЫ

Получен критерий подобия, отражающий косвенное влияние органических веществ в составе раствора на процесс выделения загрязняющих веществ и характеризующий совместное влияние концентрации органической добавки и способности данного органического вещества к адсорбции/десорбции на процесс массопереноса. Предложенный критерий подобия может быть использован для моделирования процессов выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны из растворов электролитов с органическими добавками при перемешивании воздухом, а также при выделении газов на электродах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Use of Surfactants to Reduce Release of Nickel Aerosols during Nickel Electrolysis* Mining and Metallurgical Company «Norilsk Nickel», Mining and Smelting Research Centre [Текст] / A. I. Yuriev, A. G. Malysheva, A. V. Solonin and L. A. Bolshakov // Chemistry for Sustainable Development. – Norilsk (Russia), 2004. – Vol. 12, № 4. – P. 473–478.
2. Гасанов, В. М. Совершенствование процессов снижения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны при гальванической обработке металлических элементов на предприятии стройиндустрии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Гасанов В. М. – Ростов-на-Дону, 2004. – 126 с.
3. Исаева-Парцвания, Н. В. Выбросы вредных веществ при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторов в электролите на основе кремнефтористоводородной кислоты [Текст] / Н. В. Исаева-Парцвания, А. И. Сердюк, А. Б. Ступин // Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки. – Донецьк, 2005. – Вип. 2, част. 2. – С. 303–307.
4. Painmanakul, P. Analyse locale du transfert de matière associé à la formation de bulles générées par different types d'orifices dans différentes phases liquides Newtoniennes: étude expérimentale et modélisation [Текст] : thèse de doctorat : Génie des procédés et de l'environnement / Painmanakul P. – I.N.S.A. de Toulouse, 2004. – 341 p.
5. Zhao, Wei-rong. Modeling of mass transfer characteristics of bubble column reactor with surfactant present [Текст] / Wei-rong Zhao, Hui-xiang Shi, Da-hui Wang // Journal of Zhejiang University SCIENCE. – 2004. – Vol. 5, № 6. – P. 714–720.
6. Painmanakul, P. Effect of different contaminants on the α -factor [Текст] / P. Painmanakul and G. Hébrard // Local experimental method and modeling Chemical Engineering Research and Design. – 2008. – Vol. 86, issue 11. – P. 1207–1215.
7. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : Учебник для вузов / Ю. И. Дытнерский. – 2-е изд. – М. : Химия, 1995. – 368 с.
8. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст] / Ф. Стренк. – Л. : Химия, 1975. – 384 с.
9. Кафаров, В. В. Основы массопередачи [Текст] / В. В. Кафаров. – 3-е изд. – М. : Высшая школа, 1979. – 439 с.
10. Rising bubble behavior in contaminated water with surfactant [Електронний ресурс] / Yoichiro Matsumoto, Touki Uda and Shu Takagi // European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2004, Jyväskylä, 24–28 July 2004 / P. Neittaanmäki, T. Rossi, S. Korotov, E. Oñate, J. Périaux, and D. Knörzer (eds.). – Jyväskylä, 2004. – P. 1–15. – Режим доступу : http://www.imamod.ru/~serge/arc/conf/ECCOMAS_2004/ECCOMAS_V2/proceedings/pdf/532.pdf.
11. Alves, S. S. Gas-liquid mass transfer coefficient in stirred tanks interpreted through bubble contamination kinetics [Текст] / S. S. Alves, C. I. Maia, J.M.T. Vasconcelos // Chemical Engineering and Processing. – 2004. – № 43. – P. 3–5.
12. Назарова, В. В. Проблемы моделирования и прогнозирования ингаляционного воздействия вредных веществ на рабочих при электрохимических операциях (на примере электрохимического метода утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов) [Текст] / В. В. Назарова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-6(86) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 139–144.
13. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) [Текст] / В. А. Веников, Г. В. Веников. – М. : Высшая школа, 1984. – 439 с.
14. Гухман, А. А. Введение в теорию подобия [Текст] / А. А. Гухман. – М. : Высшая школа, 1973. – 296 с.

Получено 07.10.2013

В. В. НАЗАРОВА

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З ПОВЕРХНІ ЕЛЕКТРОЛІТУ З ОРГАНІЧНИМИ ДОБАВКАМИ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглядаються проблеми вибору критеріїв подібності для опису та моделювання виділення забруднюючих речовин при електрохімічних операціях переробки з розчинів електролітів з органічними добавками. Наведено результати теоретичних досліджень з визначення факторів, що впливають на інтенсивність масопереносу з розчинів електролітів, а також алгоритм визначення критеріїв подібності процесу масопереносу з розчинів з поверхнево-активними речовинами. Представлено критерій подібності, що відображає непрямий вплив органічних речовин у складі розчину на процес виділення забруднюючих речовин і характеризує спільний вплив на процес масопереносу концентрації органічної добавки та здатності даної органічної речовини до адсорбції / десорбції.

емісія, виділення шкідливих речовин, електрохімічні операції, розчин електроліту, органічні добавки, поверхнево-активні речовини, критерії подібності, моделювання

VALERIYA NAZAROVA

DEFINITION OF SIMILARITY CRITERIA FOR MODELING THE EMISSION OF
HARMFUL SUBSTANCES FROM THE SURFACE OF THE ELECTROLYTE
WITH ORGANIC ADDITIVES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper deals with the problem of choosing the similarity criteria for the description and modeling of pollutant emissions in electrochemical processing operations from electrolyte solutions with organic additives. The results of the theoretical studies of the identification of the factors affecting the rate of mass transfer of the electrolyte solution, and the algorithm determining the similarity criteria for mass transfer from solutions surfactants have been presented. The similarity criterion, which reflects the indirect effect of organic substances in the solution to the pollutant emissions and characterizes the combined effect on the process of mass transfer of the organic additive concentration and the ability of organic matter to the adsorption / desorption has been presented

harmful substances emission, electrochemical operations, electrolyte solution, organic additive, surfactants, similarity criteria, modeling

Назарова Валерія Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка промислових відходів, зменшення викидів при електрохімічних операціях, розробка науково-обґрунтованих вимог до вибору і застосування засобів індивідуального захисту в будівництві.

Назарова Валерия Валериевна – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда, безопасности жизнедеятельности и гражданской защиты Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка промышленных отходов, уменьшение выбросов при электрохимических операциях, разработка научно-обоснованных требований к выбору и применению средств индивидуальной защиты в строительстве.

Nazarova Valeriya – PhD (Eng.), Associate Professor, Occupational Safety, Safety of Living and Civil Defense Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: industrial waste processing, emission reduction in electrochemical operations, development of scientific requirements for the selection and application of personal protective equipment.

УДК 628.112.2

В. И. ЛЕСНОЙ, В. И. НЕЗДОЙМИНОВ, П. А. ДМИТРОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПНЕВМОВЗРЫВА НА ФИЛЬТР И ПРИФИЛЬТРОВУЮ ОБЛАСТЬ ВОДОЗАБОРНОЙ СКВАЖИНЫ

В статье рассмотрены вопросы параметров пневмоимпульсного воздействия на фильтр и прифильтровую область водозаборной скважины с целью интенсификации работы водозаборных сооружений из подземных источников, снизивших свою производительность в связи с кольматацией фильтров и прифильтровой зоны скважин. Получены зависимости по определению давления и импульса давления на фильтре водозаборных скважин при пневмоимпульсном воздействии.

водозаборные скважины, кольматация, пневмовзрыв, импульс давления

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Подземные воды, как правило, бесцветны и не содержат взвешенных веществ, защищены от попадания загрязненных поверхностных стоков и, являясь пригодными для централизованного питьевого водоснабжения, относятся к водным объектам общегосударственного значения [1]. Использование подземных вод в Украине в 2012 году по данным [2] составило 3 505,5 тыс. м³/сутки. В 2012 году использование подземных вод на хозяйственно-питьевые нужды составило 2 645,59 тыс. м³/сут., на производственно-технические нужды – 477,3 тыс. м³/сут., на орошение – 52,36 тыс. м³/сут., объем использования подземных вод на сельскохозяйственные нужды – 323,26 тыс. м³/сут., на промышленный разлив и изготовления напитков – 6,99 тыс. м³/сут.

В процессе эксплуатации водозаборных скважин их производительность может значительно снижаться. Основной причиной снижения производительности водозаборных скважин является кольматация фильтров и прифильтровой зоны. Одним из основных методов воздействия на фильтр и прифильтровую область скважины с целью увеличения её дебита является пневмовзрыв, который осуществляется с помощью специального устройства – пневмопатрона. Пневмопатрон с определённой периодичностью автоматически выбрасывает в воду сжатый до высокого давления воздух, а пульсации воздушного пузыря в воде создают необходимые условия для декольматации фильтра и прифильтровой области водозаборных скважин [3, 4].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить основные параметры пневмоимпульсного воздействия на фильтр и прифильтровую зону водозаборной скважины для восстановления её производительности.

Определение давления в ресивере пневмопатрона, необходимого для разрушения кольматирующих отложений

Выбор необходимого режима обработки скважины пневмопатроном необходимо производить на основе анализа энергии, необходимой для разрушения кольматирующих отложений с заданной степенью дробления в зависимости от размеров частиц гравия или песка в призабойной зоне фильтра. При воздействии импульсных нагрузок разрушение твердых конгломератовидных осадков определяется их максимальной прочностью, напряжением на фронте ударной волны и временем приложения нагрузки. При этом следует учесть срок службы скважины и, следовательно, минимальную прочность фильтра скважины.

© В. И. Лесной, В. И. Нездойминов, П. А. Дмитров, 2013

Для определения величины энергии, необходимой для разрушения кольматанта, воспользуемся теорией хрупкого разрушения А. А. Гриффитса. Разница между теоретической и практической прочностями по Гриффитсу заключается в том, что в реальных телах имеются многочисленные трещины, концентрирующие напряжения так, что на участках, свободных от трещин, напряжения достигают критических значений, равных и превышающих теоретическую прочность. При сравнительно небольшой величине среднего напряжения в материале на кончике трещины возникает большое локальное напряжение, приводящее к росту трещины. Поры не только концентрируют напряжения, но и экранируют часть материала от напряжений. Известно, что материал, непосредственно расположенный над порой или под порой, испытывает гораздо меньшее напряжение, чем остальной материал, а материал между порами при этом будет испытывать еще большее напряжение [5].

Следовательно, если рассматривать кольматант в отверстиях фильтра как трещину и кольматант в прифильтровой зоне скважины как пористую среду, то можно сделать следующие выводы:

- фактически отложения имеют прочность меньше теоретической;
- ударная нагрузка при пневмовзрыве, действующая на существующие поры и трещины, работает как клин, увеличивая их размер до критического, после чего кольматант мгновенно разделяется на части;
- последующие импульсы, создаваемые пневмопатроном (даже при меньшем ударном давлении), позволят раздробить кольматант на более мелкие фракции;
- пульсации воздушного пузыря и его вертикальный подъем, за счет разности плотностей воды и воздуха, способствует выносу мелких частичек кольматанта из прифильтровой зоны в ствол скважины и, при соответствующих условиях, на поверхность.

Полная энергия для образования трещин определяется по формуле, Дж:

$$\mathcal{E} = \varepsilon \cdot \omega_{оме}, \quad (1)$$

где ε – поверхностная энергия на единицу площади, Дж/м²;

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot x \cdot \sigma^2}{E}, \quad (2)$$

$\omega_{оме}$ – площадь поперечного сечения отверстий фильтра, м²;

σ – среднее напряжение для образования трещины, МПа;

E – модуль Юнга, МПа;

x – радиус трещины, м;

d – диаметр отверстий фильтра, м².

С другой стороны, энергия сжатого воздуха, находящегося в пневмопатроне перед выхлопом, определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{nn} = \frac{p_n \cdot V_n}{(k-1)}, \quad (3)$$

где p_n – давление в пневмопатроне перед выхлопом, Па;

V_n – объем ресивера пневмопатрона, м³;

k – коэффициент адиабаты, для воздуха $k = 1,4$.

С учетом затрат энергии на преодоление гидростатического давления $\mathcal{E}_{зсм}$, получим остаточную энергию пузыря к концу расширения:

$$\mathcal{E}_{ост} = \frac{p_{min} \cdot V_{max}}{(k-1)} = \mathcal{E}_{nn} - \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_{зсм}}{k}, \quad (4)$$

где p_{min} , V_{max} – давление и объем пузыря к концу его расширения.

Таким образом, можно определить давление в ресивере пневмопатрона, необходимое для разрушения кольматанта с заданной прочностью, подставив (1) и (3) в (4). После преобразований получим:

$$p_n = \frac{0,4}{V_n} \cdot \left(\frac{p_{min} \cdot V_{max}}{0,4} + \frac{\frac{\pi \cdot x \cdot \sigma^2}{E} \omega_{оме} + p_0 (V_{max} - V_n)}{1,4} \right), \quad (5)$$

где p_0 – гидростатическое давление в зоне работы пневмопатрона, м.

Известно [6], что прочность осадков, кольматирующих фильтры водозаборных скважин, может составлять 0,5–3,0 МПа. Если принять давление волны сжатия на стенку фильтра равное расчетной прочности кольматанта, то можно, используя зависимость (5), определить давление, которое нужно получить после пневмовзрыва в воздушном пузыре, радиусом a .

Определение давления и объема воздушного пузыря в момент его пульсации, и времени расширения от начального объема до максимального

Давление в воздушном пузыре в момент времени t можно найти из соотношения для адиабатического процесса:

$$p_n V_n^k = p_n (V_n + Q \cdot t)^k, \quad (6)$$

где p_n – давление в пузыре в момент времени t , Па;
 p_n, V_n – объем пузыря и давление в нем в начальный момент времени, м³;
 k – коэффициент адиабаты, для воздуха $k = 1,4$;
 Q – расход воды из скважины в призабойную зону и вдоль скважины на поверхность за период времени t , м³/с:

$$Q = q_1 + q_2; \quad (7)$$

где q_1 – расход воды из скважины в пласт, м³/с;
 q_2 – расход воды при вертикальном подъеме, м³/с.

Расход q_1 найдем, используя закон истечения через малое отверстие в тонкой стенке:

$$q_1 = \mu \omega_{отв} \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}, \quad (8)$$

где μ – коэффициент расхода при истечении через отверстие в тонкой стенке;
 $\omega_{отв}$ – площадь поперечного сечения отверстий фильтра, м²;
 Δp – расчетная разница давлений до отверстия и после, Па:

$$\Delta p = \frac{p_n + p_{\min}}{2} - p_0; \quad (9)$$

ρ – плотность воды, кг/м³.

На основе формул гидродинамики для вертикального движения воды в скважине получим:

$$\frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \lambda \frac{l}{d^5} \frac{8 \cdot q_2^2}{g \cdot \pi^2}, \quad (10)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения;
 l – длина трубопровода, принимается равной глубине скважины, м;
 d – диаметр водоподъемной трубы, принимается равным диаметру скважины, м;
 Δ_{ϕ} – эквивалентная шероховатость материала трубопровода, м.

После преобразований получим:

$$q_1 = 0,03483 \cdot r_{\phi} \cdot H_{оз} \cdot \sqrt{\Delta p}, \quad (11)$$

$$q_2 = 10,4786 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot d^{5,25}}{p_0 \cdot \Delta_{\phi}^{0,25}}}, \quad (12)$$

где $H_{оз}$ – высота обрабатываемой зоны фильтра скважины, м.

Выразим объем пузыря p_n и время расширения от начального объема до максимального t_{max} :

$$p_n = \frac{p_n}{\left(1 + t \frac{0,03483 \cdot r_{\phi} \cdot H_{оз} \cdot \sqrt{\Delta p} + 10,4786 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot d^{5,25}}{p_0 \cdot \Delta_{\phi}^{0,25}}}}{V_n} \right)^k}, \quad (13)$$

$$t_{\max} = \frac{V_{\max} - V_n}{0,03483 \cdot r_{\phi} \cdot H_{\text{оз}} \cdot \sqrt{\Delta p} + 10,4786 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot d^{5,25}}{p_0 \cdot \Delta_3^{0,25}}}}. \quad (14)$$

Определение давления и импульса давления на фильтр и прифильтровую зону скважины

Давление ударной волны p и время ее действия t учитываются импульсом, который следует рассматривать как основной фактор в процессе разрушения твердых колюматизирующих образований на внутренней стенке фильтра и в призабойной зоне скважины. Эффективность ударной волны зависит от импульса – интеграла давления по времени [7, 8]:

$$I(t) = \int_0^t p(t) dt. \quad (15)$$

Предельная величина импульсов давления для скважин, эксплуатировавшихся длительное время, не должна превышать 400 кПа·с.

Величину импульсного давления численно можно определить как площадь фигуры (рис. 1), ограниченной сверху – графиком подынтегральной функции $p(t)$ (зависимость давления на стенку фильтра скважины от времени), снизу – осью абсцисс (Ot), слева – осью ординат (Op), справа – значением $t = t_{\max}$, соответствующим времени, затраченному на изменение объема воздушного пузыря от начального V_n до максимального V_{\max} . Максимальный объем определяется из соотношения [8]:

$$V_{\max} = 2,5 V_n p_n / p_0. \quad (16)$$

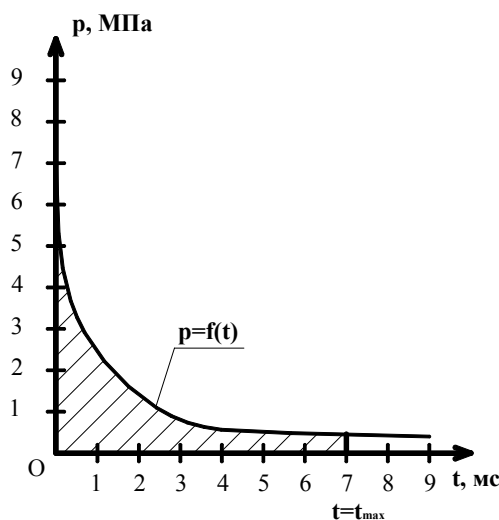


Рисунок 1 – График зависимости давления на стенку фильтра скважины от времени.

Для оценки пневмоимпульсного воздействия на фильтр и прифильтровую зону скважины необходимо определить давление и импульс давления волны сжатия на обрабатываемую поверхность фильтра.

При определении площади обрабатываемой зоны фильтра сделаны следующие допущения:

1. Если максимальный радиус пузыря r_{\max} меньше радиуса фильтра r_{ϕ} скважины, то площадь обрабатываемой зоны фильтра определяется как поверхность цилиндра радиусом r_{ϕ} и высотой $H_{\text{оз}} = 2 r_{\max}$.

2. Если в процессе расширения воздушного пузыря граница раздела воздух-вода достигнет стенки фильтра скважины, то произойдет его расширение вдоль фильтра скважины. Следовательно, увеличится площадь обрабатываемой зоны фильтра.

Тогда максимальный радиус r_{\max} пузыря необходимо приравнять внутреннему радиусу r_{ϕ} фильтра скважины и площадь обрабатываемой зоны фильтра будет равна поверхности цилиндра радиусом r_{ϕ} и высотой $H_{\text{оз}}$:

$$H_{\text{оз}} = V_{\max} / \pi r_{\phi}^2. \quad (17)$$

Минимальное давление в воздушном пузыре p_{\min} , соответствующее максимальному объему V_{\max} , определяется из условия адиабатического процесса:

$$p_{\min} = p_n \left(\frac{V_n}{V_{\max}} \right)^k, \quad (18)$$

где k – коэффициент адиабаты воздуха.

Давление на стенку фильтра в начальный момент образования пузыря p_{ϕ}^{\max} , при давлении в пузыре p_n можно найти из соотношения:

$$p_{\phi}^{\max} - p_0 = \frac{r_n}{r_{\phi}} [p_n - p_0]. \quad (19)$$

Тогда импульс давления на фильтр скважины следует определять для промежутка времени $t[0; t_{\max}]$ с помощью зависимости:

$$I_{\phi}(t) = \int_0^{t_{\max}} p_{\phi}(t) dt = \int_0^{t_{\max}} \left(\frac{a}{r_{\phi}} [p_n - p_0] + p_0 \right) dt, \quad (20)$$

где a – радиус воздушного пузыря в момент времени t , м.

Подставляя (13) в (20), получим:

$$I = \int_0^{t_{\max}} \left[\frac{a}{r_{\phi}} \left(\frac{p_n}{1 + t \frac{0,03483 \cdot r_{\phi} \cdot H_{oz} \cdot \sqrt{\Delta p} + 10,4786 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot d^{5,25}}{p_0 \cdot \Delta_s^{0,25}}}} - p_0 \right) + p_0 \right] dt. \quad (21)$$

Вычисление импульса давления производилось для следующих исходных данных:

1. Работа расширения пузыря не изменяется с увеличением глубины заложения фильтра скважины.
2. Радиус фильтра скважины принят 100, 125, 150, 175, 200 мм.
3. Прочность отложений, кольматирующих фильтр водозаборной скважины 3 МПа.
4. Максимальное давление на фильтр скважины при глубине 1 м принято равным прочности кольматанта.

Величина импульса давления определена вычислением значения интеграла (20) по методу трапеций. По результатам вычислений построены графики зависимости импульса давления от глубины скважины при сохранении работы расширения воздушного пузыря для различных диаметров фильтров скважин (рис. 2). В результате вычислений было установлено, что импульс давления на стенку фильтра, при воздействии на него глубинным пневмопатроном, не превышает 100 кПа·с, что является допустимым при обработке скважин импульсными методами [7].

ВЫВОДЫ

1. Определены параметры изменения воздушного пузыря в жидкости: начальный объем пузыря и давление в нем, максимальный объем пузыря и давление в нем, время расширения пузыря в зависимости от гидростатического давления в скважине.
2. Получены зависимости для расчета основных параметров пневмоимпульсного воздействия глубинным пневмопатроном – давления и импульса давления на фильтр и прифилтровую зону скважины.
3. Теоретически установлено, что импульс давления на стенку фильтра, при его обработке глубинным пневмопатроном, не превышает 100 кПа·с, что является допустимым при обработке скважин импульсными методами.

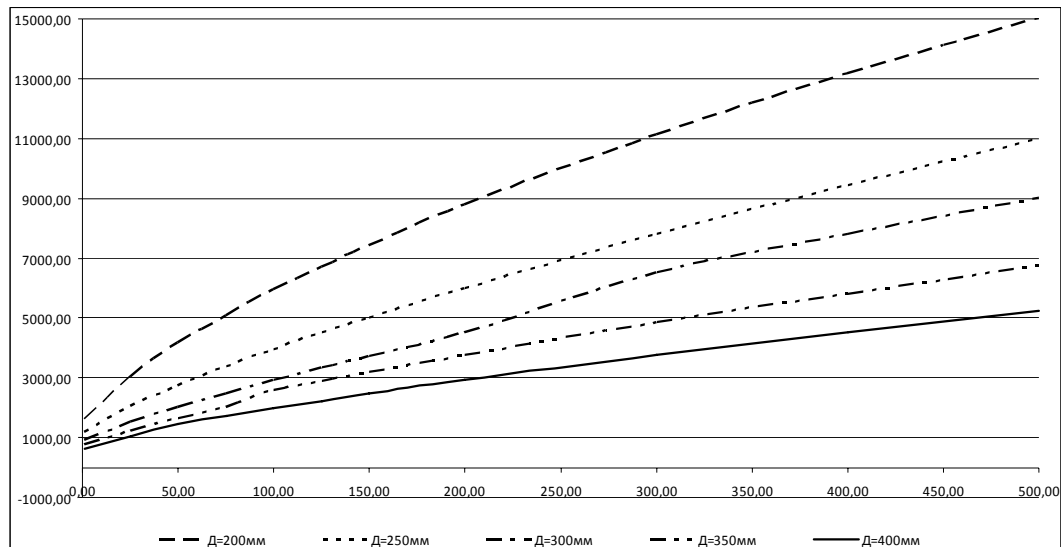


Рисунок 2 – Зависимость импульса давления от глубины скважины при сохранении работы расширения воздушного пузыря $A = f(H_{\text{гст}} = 1 \text{ м}, p_{\text{ни}} = 3 \text{ МПа}) = \text{const}$ для диаметра фильтра от 200 до 400 мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Водний кодекс України [Текст] : [Постанова Верховної Ради України від 6 червня 1995 року N 214/95-ВР із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 2 липня 2013 року N 365-VII] : офіц. текст : станом на 27 липня 2013 р. // Відомості Верховної Ради України. – 1995. – № 24. – С. 12–41.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році [Текст] / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К. : МРРБЖК, 2013. – 450 с.
3. Лесной, В. И. Обзор существующих методов восстановления дебита водяных скважин [Текст] / В. И. Лесной // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2007. – Том 3, № 4. – С. 198–202.
4. Lesnoy, V. The mechanism of «pneumoexplosion» in water well conditions [Текст] / Vyacheslav Lesnoy, Leonid Slyoz // Innovative technologies in water management complex : Collected articles of young scientists. – Rivne : National University of Water Management and Nature Resources Use, 2012. – Issue II. – P. 137–139.
5. Разрушение : [В 7 т.] : Пер. с англ. Т. 7: Разрушение неметаллов и композитных материалов. Ч. II. Органические материалы (стеклообразные полимеры, эластомеры, кость) / [Дж. Берри, Н. Джент, Ф. Рюйрих; Под ред. Ю. Н. Работнова]. – М. : Мир, 1976. – 470 с.
6. Романенко, В. А. Электрофизические способы восстановления производительности водозаборных скважин [Текст] / В. А. Романенко. – Л. : Недра, 1980. – 79 с.
7. Рекомендации по импульсным методам восстановления производительности скважин на воду [Текст] / К. С. Боголюбов [и др.] ; ВНИИ «ВОДГЕО» ; под общей ред. К. С. Боголюбова. – М. : ВНИИ «ВОДГЕО», 1979. – 114 с.
8. Склянський, В. Г. Временная инструкция по применению пневмовзрыва для увеличения производительности скважин на воду [Текст] / В. Г. Склянський. – Баку : АзНИИ водных проблем, 1975. – 74 с.

Получено 07.10.2013

В. І. ЛЕСНОЙ, В. І. НЕЗДОЙМІНОВ, П. О. ДМІТРОВ
ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ВПЛИВУ ПНЕВМОВИБУХУ НА ФІЛЬТР І
ПРИФІЛЬТРОВУ ЗОНУ ВОДОЗАБІРНОЇ СВЕРДЛОВИНИ
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглянуті питання параметрів пневмоімпульсного впливу на фільтр і прифільтрову зону водозабірної свердловини з метою інтенсифікації роботи водозабірних споруд з підземних джерел, що знизили свою продуктивність у зв'язку з кольматацією фільтрів і прифільтрової зони свердловин. Отримано залежності з визначення тиску та імпульсу тиску на фільтрі водозабірних свердловин при пневмоімпульсному впливі.

водозабірні свердловини, кольматація, пневмовибух, імпульс тиску

VIACHESLAV LESNOY, VIKTOR NEZDOYMINOV, PAVLO DMITROV
BASIC PARAMETERS OF INFLUENCE OF PNEUMOEXPLOSION ON THE
FILTER AND AROUND-FILTER ZONES OF A WATER WELLS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper deals with the impact on the parameters of pneumatic impulse filter and around-filter area water well to intensify work intakes from underground sources to reduce its performance due to clogging of filters and around-filter zone wells. The dependencies to determine the pressure and pulse pressure on the filter of water wells pneumatic impulse exposure have been taken.

water wells , mudding (mud grouting process), pneumoexplosion, the pulse pressure

Лесной Вячеслав Иванович – асистент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інтенсифікація роботи водозабірних споруд з підземних джерел.

Нездойминов Віктор Іванович – доктор технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси : біологічна очистка стічних вод.

Дмитров Павло Олександрович – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інтенсифікація роботи водозабірних споруд з підземних джерел.

Лесной Вячеслав Иванович – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: интенсификация работы водозаборных сооружений из подземных источников.

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: биологическая очистка сточных вод.

Дмитров Павел Александрович – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: интенсификация работы водозаборных сооружений из подземных источников.

Lesnoy Viacheslav – the assistant, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: intensification of work of water intake from underground sources.

Nezdoyminov Viktor – DcS (Eng.), Assistant Professor, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: biological treatment of wastewater.

Dmitrov Pavlo – a student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: intensification of work of water intake from underground sources.

УДК 695.97

Н. А. МАКСИМОВА, В. А. КРАВЕЦ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ХОЛОДА ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Выполнен анализ применения естественных источников холода для систем кондиционирования воздуха. Проанализированы возможности естественных источников холода. Наиболее экономически целесообразно использовать в качестве источника холодоснабжения артезианскую воду. Предложена схема использования артезианской воды в качестве естественного источника холода для системы кондиционирования воздуха.

энергосбережение, охлаждение, вода горных рек, артезианская вода, испарительное охлаждение, кондиционирование

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В условиях непрерывного увеличения потребления и роста стоимости энергоресурсов обозначилась неуклонная тенденция экономии энергоносителей. Успешное и эффективное развитие народного хозяйства Украины во многом зависит от эффективного использования топливно-энергетических ресурсов. Одним из наиболее крупных потребителей энергии являются системы тепло- и холодоснабжения, относящиеся к так называемой «малой» энергетике.

В настоящее время основным источником холода для систем кондиционирования воздуха в жилых и общественных зданиях являются парокомпрессионные холодильные машины, которые имеют ряд недостатков. Поэтому рассмотрение вопроса применения естественных источников холода для систем кондиционирования воздуха является актуальным.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В системах кондиционирования воздуха для холодоснабжения применяют как искусственные, так и естественные источники холода.

В качестве искусственных источников чаще всего применяют парокомпрессионные холодильные машины. К недостаткам парокомпрессионных холодильных машин следует отнести: необходимость постоянного обслуживания высококвалифицированным персоналом; потребление большого количества энергии; высокую вероятность выхода из строя из-за большого количества движущихся деталей (5 % по международным стандартам); высокий уровень шума, а также применение в качестве хладагентов химических соединений на основе хлорфторуглеродов, гидрохлорфторуглеродов, фторуглеродов и дифторуглеродов под общим названием фреоны, которые негативно воздействуют на озоновый слой земли [1].

В качестве естественных источников используют воды холодных рек, озер, артезианские воды, естественное испарение воды в конструкции испарительного охлаждения. В литературе рассмотрены вопросы использования естественных источников холода для систем кондиционирования воздуха, однако не выделены те из них, которые наиболее экономически целесообразно использовать в качестве источника холодоснабжения.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования является анализ использования естественных источников холода для систем кондиционирования воздуха.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для охлаждения и осушения воздуха в СКВ (системах кондиционирования воздуха) могут быть использованы естественные источники холода (лед, артезианская или грунтовая вода), холодильные машины, а также комбинации естественных источников холода с холодильными машинами.

Источники холода используют в холодильных машинах, потребляющих электрическую или тепловую энергию. Наибольшее распространение для кондиционирования воздуха получили парокомпрессионные холодильные машины, работающие по холодильному циклу с изменением агрегатного состояния холодильного агента при подводе и отводе теплоты.

Как известно, в парокомпрессионных холодильных машинах в качестве источника холода используются разные фреоны. Используются хладагенты однокомпонентные, например фреон R134, R22. Также используются хладагенты-азеотропные (многокомпонентные), например фреон R407, R410. На смену R22, который разрушает озоновый слой и производство которого ограничено Монреальским протоколом, пришел азеотропный R410. Ни один из компонентов фреона не содержит хлора, поэтому он безопасен для озонового слоя (озоноразрушающий потенциал равен нулю) [3].

Естественным источником холода для установок кондиционирования воздуха малой мощности может служить тающий лед. Намораживаемый за зиму в местностях с умеренным климатом ледяной бурт толщиной до 3 м укрывают матами и слоем опилок либо намораживают лед в ледогенераторе. В теплый период года лед орошают теплой водой из кондиционера, в который насосом подается охлажденная вода из поддона хранилища или ледогенератора. Для охлаждений воздуха помещений в климатических зонах с существенной суточной амплитудой температуры используют «ночной холод». Наружным воздухом с относительно низкой температурой ночью охлаждаются строительные конструкции или специальные емкие аккумулирующие устройства, в которых днем охлаждают более теплый наружный воздух.

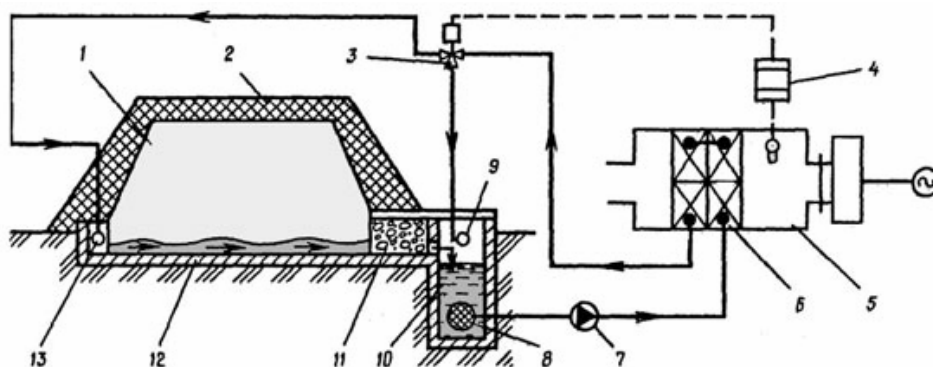


Рисунок 1 – Схема использования льда в качестве естественного источника холода для системы кондиционирования воздуха: 1 – лед; 2 – насыпная изоляция; 3 – трехходовой клапан; 4 – регулятор температуры; 5 – кондиционер; 6 – поверхностный воздухоохладитель; 7 – центробежный насос; 8 – фильтр; 9 – перелив воды в канализацию; 10 – приемок талой воды; 11 – гравийный фильтр; 12 – площадка; 13 – коллектор отепленной воды.

Но возможность использования льда и холода ночного воздуха зависит от географических, климатических и прочих особенностей региона. Поэтому применение этих естественных источников требует экономического обоснования для определенного района проектирования.

Использование воды холодных озер и рек и артезианской воды эффективно, когда нагрев воды в кондиционере не менее чем на 3 °С дает необходимые параметры воздуха. При этом воздух должен взаимодействовать с водой питьевого качества.

Одним из лучших, самых надежных и устойчивых естественных источников холодоснабжения являются артезианские воды, так как имеют низкую и постоянную температуру.

Холодная вода из артезианской скважины подается в поверхностный воздухоохладитель или камеру орошения кондиционера. После обработки в кондиционере воду можно употребить для технических нужд или спустить в канализацию. Воду также можно подать в диффузионную скважину, посредством которой она проникает в толщи земных пород и на большой глубине снова приобретает качества артезианской воды.

Для повышения эффективности использования этой воды применяют охлаждение водой и машинное охлаждение. Затраты на сооружение скважин не всегда ниже затрат на установку холодильных машин, кроме того, необходимость соблюдения требований экологической безопасности и увеличение дефицита питьевой воды ограничивают использование артезианских скважин для технических нужд. Необходимость применять только воду питьевого качества заставляет бурить глубокие скважины несмотря на то, что чем глубже скважина, тем она дороже и тем выше температура получаемой артезианской воды [2].

Одним из вариантов использования артезианской воды в качестве естественных источников холода является использование ее вместо фреонов. Артезианская вода – бесплатный источник холода и никак не влияет на окружающую среду. Также парокомпрессионные машины требуют тщательного ухода и часто нуждаются в ремонте, а фанкойлы – не такая требовательная техника.

Вода, выкачанная из артезианской скважины, с $T = 7^\circ\text{C}$ поступает в первый контур, на фанкойлах она нагревается до $T = 15^\circ\text{C}$ и направляется во второй контур, где, проходя через панели, нагревается еще до $T = 19^\circ\text{C}$ и после этого, проходя через очиститель, отправляется на хозяйственные нужды.

Сама система будет состоять из насоса, первого контура (фанкойлы), второго контура (потолочно-охлаждающие панели), после чего, проходя через очиститель, будет распределяться на хозяйственные нужды (рисунок 2).



Рисунок 2 – Схема использования артезианской воды в качестве естественных источников холода для системы кондиционирования воздуха.

Второй контур, в который вода попадает после фанкойлов, монтируется за подвесным потолком. Такая схема добавит помещению большую кондиционируемость и также большую возможность для охлаждения помещения в короткие сроки. Главной проблемой является температура воды, которая будет поступать на второй контур. Панели работают по принципу испарения и если температура воды будет меньше температуры точки росы воздуха, то вся вода будет выделяться на потолок. Поэтому для предотвращения образования конденсата на охлаждающих панелях необходимо, чтобы температура поступающей в них воды была выше температуры точки росы воздуха помещения.

ВЫВОДЫ

Использование естественных источников холода (воды горных рек, артезианской воды, льда и холода ночного воздуха) является целесообразным при соответствующем экономическом обосновании для определенного района проектирования.

Одним из лучших, самых надежных и устойчивых естественных источников холодоснабжения являются артезианские воды, так как имеют низкую и постоянную температуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белова, Е. Н. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами [Текст] / Е. Н. Белова. – М. : Евроклимат, 2003. – 402 с.
2. Кокорин, О. Я. Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст] / Кокорин О. Я. – М. : Проспект, 1999. – 287 с.
3. Кокорин, О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха [Текст] / О. Я. Кокорин. – М. : Физматлит, 2003. – 304 с.
4. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и Практика [Текст] / В. А. Ананьев, Л. Н. Балужева, А. Д. Гальперин [и др.]. – М. : Евроклимат, 2001. – 416 с.

5. Использование естественных источников холода для охлаждения и осушения воздуха в СКВ [Электронный ресурс] / Б. К. Явнель // Холодильщик.RU : интернет-газета. – 2010. – № 11(71). – Режим доступа : http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_11_2010_Natural_sources_chill.htm.

Получено 07.10.2013

Н. А. МАКСИМОВА, В. А. КРАВЕЦЬ
АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ ХОЛОДУ ДЛЯ СИСТЕМ
КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано аналіз застосування природних джерел холоду для систем кондиціювання повітря. Проаналізовано можливості природних джерел холоду. Найбільш економічно доцільно використовувати як джерело холодопостачання артезіанську воду. Запропоновано схему використання артезіанської води як природного джерела холоду для системи кондиціювання повітря.
енергоощадження, охолодження, вода гірських річок, артезіанська вода, випарне охолодження, кондиціювання

NATALYA MAKSIMOVA, VASILY KRAVETS
ANALYSIS OF THE USE OF NATURAL SOURCES OF COLD FOR AIR
CONDITIONING SYSTEMS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of the use of natural sources of cold for air conditioning systems have been carried out. The possibilities of the natural sources of cold have been analyzed. It is the most economically expedient to use as a cooling source artesian water. A scheme of using artesian water as a natural source of cold air for air conditioning have been suggested
energy savings, cooling, water from mountain rivers, artesian water, evaporative cooling, air conditioning

Максимова Наталя Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка термотрансформаторів та теплових насосів, енергоресурсоощадження.

Кравець Василь Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: придушення бурого диму.

Максимова Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка термотрансформаторов и тепловых насосов, энергоресурсосбережение.

Кравец Василий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: подавление бурого дыма.

Maksimova Natalya – PhD (Eng.), an Associate Professor, Heating 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 resource.

Kravets Vasily – DSc (Eng.), Professor, Manager, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: suppression of brown smoke.

УДК 628.1

Л. Г. ЗАЙЧЕНКО, И. Б. СИНЕЖУК, Е. П. ЗАДОРЖНАЯ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Выполнен расчет и сравнительный анализ индивидуальных технологических нормативов потребления питьевой воды для системы централизованного водоснабжения. Рассмотрены мероприятия, направленные на уменьшение технологических расходов воды и повышение экономических показателей работы предприятий.

система водоснабжения, технологические расходы воды, технологический норматив использования питьевой воды

Экономия водных ресурсов в коммунальном водном хозяйстве может быть достигнута как за счет снижения расхода конечного продукта отрасли – питьевой воды, получаемой после ее соответствующей обработки непосредственно в технических, бытовых или других процессах потребления, так и снижения расхода воды в самих водопроводно-канализационных предприятиях. Первое направление экономии связано с совершенствованием водного хозяйства потребителей – абонентов водопроводно-канализационного хозяйства, которые представлены тремя основными группами: населением (жилищный фонд), коммунально-бытовыми организациями, промышленными предприятиями. Второе достигается за счет совершенствования расходования воды на технологические цели водопроводно-канализационных предприятий, а также уменьшения непроизводительных затрат и физических утечек воды [4].

Государственным комитетом Украины по вопросам жилищно-коммунального хозяйства издан приказ № 33 от 17.02.2004 об утверждении «Отраслевых технологических нормативов использования питьевой воды для предприятий ВКХ Украины». Технологические расходы и потери питьевой воды на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства ВКХ определяются на основании анализа статистических и эксплуатационных данных в соответствии с методикой, разработанной Государственной академией жилищно-коммунального хозяйства «Госжилкоммунхоза Украины» при участии ведущих специалистов водопроводно-канализационного хозяйства и экологии Госстроя Украины [1].

Основными составляющими технологических расходов воды являются расходы на подъем и очистку. Расход на подъем обусловлен затратами воды на промывку трубопроводов подъема воды на водоочистную станцию и зависит от скорости движения воды в трубопроводе, продолжительности промывки участка трубопровода, количества промывок, количества промывных участков и диаметра трубопровода. Все эти показатели в среднем постоянны.

Технологические расходы на фильтровальных станциях связаны с затратами воды для различных вспомогательных технологических операций: на промывку фильтров и отстойников; продувку осветлителей со взвешенным осадком; дезинфекцию и промывку сооружений после их ремонта или реконструкции, а также на поливку прилегающих территорий, мойку помещений и поддержание на предприятии надлежащих санитарных условий и т. п. [5].

Кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры был произведен расчет индивидуальных технологических нормативов использования питьевой воды (ИТНИПВ) для подразделений, входящих в структуру КП «Компания "Вода Донбасса"».

Компания «Вода Донбасса» является крупнейшим предприятием сферы ЖКХ Украины – это уникальный комплекс гидротехнических и водопроводных сооружений. В состав централизованной системы водоснабжения входят восемь региональных производственных управлений (РПУ), которые являются единым комплексом водопроводных сооружений и связаны в единую систему, в составе которой канал «Северский Донец – Донбасс» протяженностью 132 км и пропускной способностью 1 106 млн куб. метров воды в год, 17 водохранилищ и подземные водозаборы, 16 фильтровальных станций с производительностью 2,8 млн куб. метров воды в сутки, водоводы общей протяженностью более 2 тыс. км. Ежедневно потребителям подается более 1,5 млн м³ питьевой и 0,4 млн м³ технической воды [2, 3].

Анализ составляющих технологического норматива использования питьевой воды для централизованной системы водоснабжения за 2006 и 2011 для нескольких подразделений КП «Компания "Вода Донбасса"» (рис.) показывает, что количество воды на подъем и очистку в 2011 году уменьшилось в сравнении с 2006 годом. Так, при подготовке питьевой воды большая часть технологических расходов приходится на промывку фильтровальных сооружений. Их величина зависит от ряда факторов: сезонных изменений качества воды в источниках; различных технологических схем; конструкции фильтров; гранулометрического состава загрузки; качества применяемых реагентов; принятого режима и интенсивности промывки.

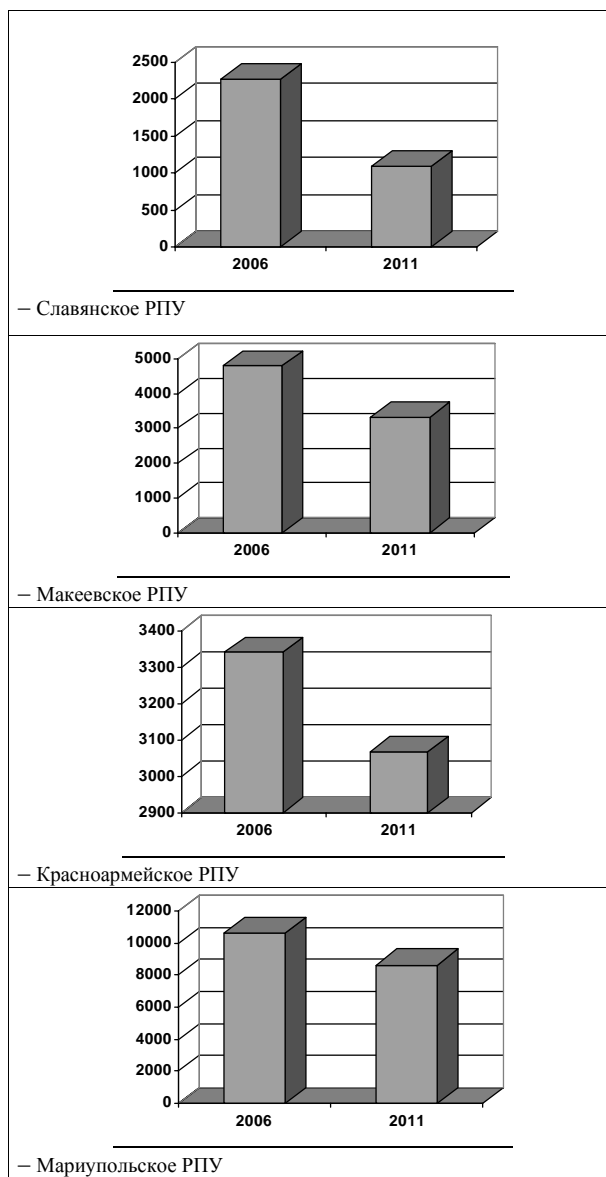


Рисунок – Технологический расход на подъем и очистку воды тыс. м³ / год.

Основными мероприятиями, позволяющими обеспечить сокращение технологических расходов воды, являются:

- оперативный контроль и прогнозирование качества воды в источнике для выбора наиболее рациональных режимов технологии производства питьевой воды, в частности для определения начала и конца периода применения реагентов, последовательности и интервалов времени их введения в обрабатываемую воду;
- технологический контроль параметров работы каждого цикла производства питьевой воды для обеспечения наиболее высокой степени очистки воды на каждом этапе;
- соблюдение установленной продолжительности и технологии рабочих циклов;
- своевременное реагирование в технологии на изменения качества исходной воды;
- правильный выбор режимов промывки фильтровальных сооружений (периодичность, интенсивность и продолжительность). При выборе режимов промывки следует учитывать, что увеличенная продолжительность рабочего цикла приводит к накоплению и закреплению загрязнений в загрузке, затрудняет промывку и требует повышенных расходов промывной воды;
- организация учета расхода промывных вод с помощью измерительных приборов, нормирование и контроль соблюдения установленных норм расхода воды.

Наиболее эффективное сокращение технологических расходов воды достигается при повторном использовании воды, в первую очередь после промывки фильтровальных сооружений. Повторное использование промывных вод, кроме сокращения технологических потерь, позволяет уменьшить расход коагулянта и улучшить условия образования и осаждения хлопьев гидроокисей. Это связано с тем, что в промывных водах содержатся хлопья скоагулированных гидроокисей, адсорбционная емкость которых в предыдущем цикле обработки воды используется, как правило, не полностью.

В настоящее время схемы повторного использования промывных вод разработаны и получили применение на некоторых действующих предприятиях по производству питьевой воды.

При эксплуатации сооружений систем подачи и распределения воды (ПРВ) вода требуется главным образом для промывки и дезинфекции резервуаров и трубопроводов при проведении плановых профилактических работ, а также непредвиденных работ в связи с устранением возникающих аварий. Кроме того, вода используется для гидравлических испытаний новых или реконструированных сооружений при приемке их в эксплуатацию, а также для натурных испытаний действующих сооружений, оценки их пропускной способности в период проведения наладочных работ по интенсификации систем ПРВ.

В качестве мероприятий по сокращению технологических расходов воды при эксплуатации систем ПРВ можно рекомендовать: при дезинфекции резервуаров – применение не объемного метода, а метода орошения; при промывке трубопроводов – гидропневматической промывки вместо гидравлической. Для дезинфекции резервуаров орошением требуются более концентрированные растворы хлорной извести (на 1 л воды 200–250 мг активного хлора вместо 75–100 мг при объемной дезинфекции), но при этом значительно сокращаются время контакта и объем израсходованной воды. Гидропневматическая промывка, обеспечивая более высокий, чем гидравлическая эффект очистки трубопровода, одновременно значительно сокращает расход воды и продолжительность промывки. Опыт показывает, что без применения воздуха промывка трубопровода до получения удовлетворительных результатов продолжается в течение нескольких дней, в то время как гидропневматическая промывка равный эффект обеспечивает в зависимости от местных условий за 2–6 ч.

Таким образом, проанализировав все составляющие технологических расходов воды на подъем и очистку можно сделать вывод, что объем технологических расходов в основном зависит от результатов деятельности персонала предприятий коммунального водоснабжения. Усиление учета и контроля технологических расходов воды является необходимым условием сокращения самих расходов воды и общего количества неучтенных расходов, которые ухудшают показатели работы предприятий водоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Порядок розроблення та затвердження технологічних нормативів використання питної води [Текст] : Затв. Наказом Держжитлокомунгоспу України від 15.11.04 р. № 205 : Зареєстр. Мінюстом України 7.12.04 р. за № 1556/10155 // Офіційний вісник України. – 2004. – № 49. – С. 229–230.
2. Розрахунок поточного індивідуального технологічного нормативу використання питної води для КП «Компанія "Вода Донбасу"» [Текст] : Звіт науково-дослідної роботи : 112-08 / кер. Нездодмінов В. І. ; викон. : Зайченко Л. Г. [та інш.]. – Макіївка, 2012. – 53 с.

3. Зайченко, Л. Г. Проблемы централизованного и муниципального водоснабжения в Донецком регионе [Текст] / Л. Г. Зайченко, В. И. Нездойминов, Е. П. Задорожная // MOTROL. – 2012. – №. 14–6. – С. 57–64.
4. Кравченко, В. А. Основные подходы в решении проблем реформирования и развития предприятий водопроводно-канализационного хозяйства Украины [Текст] / В. А. Кравченко // Водопостачання та водовідведення. – 2008. – № 1. – С. 35–39.
5. Зайченко, Л. Г. Факторы, влияющие на показатели технологических расходов питьевой воды в системе коммунального хозяйства [Текст] / Л. Г. Зайченко, Ю. Г. Акулова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-6(86) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 42–46.

Получено 08.10.2013

Л. Г. ЗАЙЧЕНКО, І. Б. СИНЕЖУК, О. П. ЗАДОРЖНА
ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ВОДИ ДЛЯ СИСТЕМИ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано розрахунок і порівняльний аналіз індивідуальних технологічних нормативів використання питної води для системи централізованого водопостачання. Розглянуто заходи, що спрямовані на зменшення технологічних витрат води та покращення економічних показників роботи підприємств.
водопровідна мережа, технологічні витрати води, технологічний норматив використання питної води

LYUDMILA ZAICHENKO, INNA SYNEZHUK, YELENA ZADOROZHNYAYA
COMPARISON OF TECHNOLOGICAL CONSUMPTION OF WATER FOR
CENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEMS OF DONETSK REGION
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The calculation and comparative analysis of the individual technological standards of drinking water consumption for the centralized water supply system has been done. The factors aimed for reducing technological consumptions of water as well as for improving economic performances of enterprises have been considered.
water supply network, technological consumptions of water, technological standard using drinking water

Зайченко Людмила Геннадіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок технологічних нормативів використання питної води різними споживачами.

Синежук Інна Борисівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок технологічних нормативів використання питної води різними споживачами.

Задорожна Олена Павлівна – асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок технологічних нормативів використання питної води різними споживачами.

Зайченко Людмила Геннадиевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет технологических нормативов использования питьевой воды различными потребителями.

Синежук Инна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: новые материалы и современные технологии при реконструкции сооружений водоснабжения и водоотведения.

Задорожная Елена Павловна – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: новые материалы и современные технологии при реконструкции сооружений водоснабжения и водоотведения.

Zaichenko Lyudmila – PhD, Associate Professor, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calculation of technological standards for using drinking water by various consumers.

Synezhuk Inna – PhD, Associate Professor, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calculation of technological standards for using drinking water by various consumers.

Zadorozhnaya Yelena – the assistant, Water Supply, Water Disposal and Water Resources Conservation and Protection Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calculation of technological standards for using drinking water by various consumers.

УДК 669.162.252.468

В. А. КРАВЕЦЬ, А. А. ЛОЦМАН

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

РАСЧЁТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОДАЧИ ГАЗООБРАЗНОГО АЗОТА ПРИ НАПОЛНЕНИИ КОВША РАСПЛАВОМ ЧУГУНА

Выполнен расчёт и проведены экспериментальные исследования снижения температуры расплава чугуна при обдуве струи металла газообразным азотом с целью подавления выбросов бурого дыма. Установлено, что фактическое снижение температуры не превышает 1 °С, что не оказывает влияния на технологический процесс.

бурый дым, газообразный азот, чугун

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выпуск чугуна из доменной печи и переливы чугуна в миксерных отделениях сопровождаются выбросом в атмосферу значительного количества пыли, состоящей из двух основных компонентов: на 70 % из мелкодисперсного бурого дыма и на 30 % из крупнодисперсной графитной пыли. Литейные дворы доменных печей и миксерные отделения сталеплавильных цехов являются крупными источниками загрязнения атмосферы. На многих заводах эта проблема не решена, а на других заводах для её решения применяются системы аспирации с пылеочисткой в электрофильтрах или рукавных фильтрах. Достоинством таких систем является высокая эффективность – выбросы снижаются на 98–99 %. Недостатком таких систем являются высокие капитальные и эксплуатационные затраты. Поэтому актуальной является проблема разработки технологических приёмов, позволяющих снизить выбросы без использования фильтров. Одним из таких приёмов является пылеподавление газообразным азотом, обеспечивающее снижение выбросов бурого дыма на 80–90 % [1]. Однако возможным недостатком этого метода является снижение температуры чугуна [2].

Оценке величины снижения температуры и посвящена данная работа.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для оценки снижения температуры при обдуве падающей струи чугуна азотом были выполнены расчёты. Схема расчёта приведена на рисунке.

Изменение температуры чугуна определяли по формуле:

$$\Delta T_q = \frac{Q}{m_q \cdot C}, \quad (1)$$

где Q – количество тепла, отведённого от чугуна в результате обдува его азотом, Дж;
 m_q – масса переливаемого чугуна, кг;
 C – теплоёмкость расплава, Дж/(кг·К).

Количество отведённого тепла (Q) можно определить следующим образом:

$$Q = 3600 \times \pi \times D \times H \times \tau \times \alpha (T - T_c), \quad (2)$$

где D – диаметр струи металла, м;
 H – высота падения струи, м;
 τ – время слива чугуна, ч;

© В. А. Кравец, А. А. Лоцман, 2013

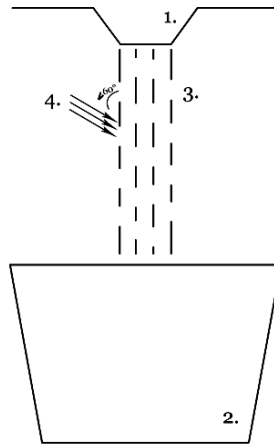


Рисунок – К расчёту снижения температуры расплава чугуна при обдуве струей азота: 1 – носок миксера; 2 – ковш; 3 – струя металла; 4 – струя азота.

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²К);
 T – температура чугуна, К;
 T_c – температура окружающей среды, К.

В свою очередь α равно:

$$\alpha = \frac{\lambda \times Nu}{D}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К);
 Nu – критерий Нуссельта.

Критерий для случая обдува цилиндра струей газа под углом атаки 60° определяется по формуле [4]:

$$Nu = 0,8 \times C_m \times Re^m, \quad (4)$$

где C_m и m – коэффициенты, зависящие от числа Рейнольдса (Re):

$$Re = \frac{V \times D}{\vartheta}. \quad (5)$$

Подставив формулы 2–5 в формулу 1 получим следующее уравнение:

$$\Delta T \tau = \frac{3600 \times \pi \times D \times H \times \tau \times \frac{\lambda \times 0,8 \times C_m \left(\frac{V \times D}{\vartheta} \right)^m}{D(T - T_c)}}{m_q \times C}, \quad (6)$$

где D – диаметр струи чугуна, м;
 V – скорость струи азота в месте встречи со струей металла, м/с;
 ϑ – кинематическая вязкость газа, м²/с.

Рассчитаем падение температуры для условий отделения перелива чугуна (ОПЧ) кислородно-конвертерного цеха № 2 (ККЦ-2) Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК). В условиях ККЦ-2 ЗСМК диаметр струи при сливе из миксерного чугуновоза приблизительно равен 1 м, а осевая скорость струи азота в месте встречи со струей чугуна составляет примерно 20 м/с. Учитывая, что $\vartheta = 1,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с и подставляя эти численные значения в (5), найдём $Re = 1,3 \cdot 10^6$. При этом значении Re коэффициенты C_m и m соответственно равны 0,023 и 0,800, $Nu = 1440$.

Высота падения струи (H) металла изменяется в ходе слива чугуна от 6 до 2 м, составляя в среднем 4 м. Время наполнения ковша на ЗСМК составляет в среднем около 4 минут, т. е. 0,066 ч. Подставляя численные значения Nu , τ и H , и учитывая, что $m_q = 250\,000$ кг; $\lambda = 4,5 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К); $C = 795$ Дж/(кг·К); $T = 1\,673$ °К; $T_c = 273$ °К, нашли:

$$\Delta T_{\text{ч}} = 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Выполненный расчёт был проверен в реальных условиях перелива чугуна в ККЦ-2 ЗСМК. Температуру чугуна в чугуновозах миксерного типа измеряли в момент прибытия их в отделение перелива. Температуру чугуна в ковше измеряли сразу после слива. Сливы чугуна с подачей азота чередовались со сливами без подачи азота. Среднее снижение температуры при сливе без подачи азота составило 6,6 °С, а при подаче азота 7,4 °С. То есть, фактическое снижение температуры чугуна вследствие обдува его азотом составило 0,8 °С, что практически совпадает с расчётом.

Аналогичные исследования были выполнены в миксерном отделении ККЦ комбината «Азовсталь». Был выполнен расчёт падения температуры чугуна при сливе из миксера в ковш при следующих параметрах: высота падения струи металла $H = 7$ м, диаметр струи при сливе из миксерного чугуновоза $D = 0,5$ м. Подставляя данные в формулу (6), получим:

$$\Delta T_{\text{чАзовсталь}} = 1,4 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

В ходе экспериментальных исследований в миксерном отделении ККЦ комбината «Азовсталь» чередовали 3–4 слива чугуна из миксера в ковш с подачей азота с 1–2 контрольными сливами без пылеподавления. В период проведения исследований конвертерный цех работал без аварий, ритмично, и количество чугуна в миксере перед сливом менялось незначительно в пределах 1 700–1 800 т. Таким образом, температура сливаемого из миксера чугуна была примерно постоянной и не зависела от того, применялось пылеподавление азотом или нет.

После каждого перелива термопарой замерялась температура чугуна в ковше. Полученные результаты приведены в табл. Из таблицы видно, что разница в температуре чугуна при сливах с азотом и без азота составила в среднем 0,9 °С.

Таблица – Снижение температуры чугуна при сливе из миксера в ковш в ККЦ меткомбината «Азовсталь»

Технология слива чугуна	Количество опытов	Температура чугуна в ковше после слива, °С		
		Min	Max	Средняя
С подачей азота через 2 сопла диаметром 200 мм при расходе азота 8 000 м³/ч	22	1 300	1 340	1 325
Без подачи азота	23	1 300	1 355	1 325,9

ВЫВОДЫ

Таким образом, фактическое снижение температуры чугуна при переливе за счёт подачи азота как на «Азовстали», так и на ЗСМК, составило менее 1 °С, что является незначительной величиной, не оказывает влияния на технологический процесс и не может служить препятствием к применению способа пылеподавления азотом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравец, В. А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна [Текст] : Монография / В. А. Кравец. – Донецк : УкрНТЭК, 2002. – 186 с.
2. Кравец, В. А. Свойства взвешенных частиц, выделяющихся в атмосферу при переливах чугуна [Текст] / В. А. Кравец, А. А. Лоцман, Ю. В. Насанова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : збірник наукових праць. – Макіївка, 2011. – Випуск 2011-5(91) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 77–86.
3. Подавление бурого дыма на литейных дворах [Текст] / Э. Я. Лившиц, В. С. Гурьев, А. В. Сточний [и др.] // Тезисы докладов Всесоюзного н.-т. совещ. «Проблемы охраны природы при техническом перевооружении в чёрной металлургии» / Выставка достижений народного хозяйства СССР. – М. : ВДНХ СССР, 1987. – С.13.
4. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена [Текст] / С. С. Кутателадзе. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1970. – 660 с.
5. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : ЭНЕРГОИЗДАТ, 1981. – 417 с.

Получено 09.10.2013

В. А. КРАВЕЦЬ, Г. О. ЛОЦМАН
РОЗРАХУНОК І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗНИЖЕННЯ
ТЕМПЕРАТУРИ МЕТАЛУ В РЕЗУЛЬТАТІ ПОДАЧІ ГАЗОПОДІБНОГО АЗОТУ
ПРИ НАПОВНЕННІ КОВША РОЗПЛАВОМ ЧАВУНУ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано розрахунок та проведено експериментальні дослідження зниження температури розплаву чавуну при охолодженні струменя металу газоподібним азотом з метою придушення викидів бурого диму. Встановлено, що фактичне зниження температури не перевищує 1 °С, що не впливає на технологічний процес.

бурый дим, газоподібний азот, чавун

VASILY KRAVETS, ANNA LOTSMAN
CALCULATION AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF REDUCING THE
METAL TEMPERATURE BY SUPPLYING GASEOUS NITROGEN DURING THE
FILLING BUCKET MOLTEN IRON

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The calculation has been carried out and experimental studies of lowering the temperature of the molten iron in the metal stream blowing nitrogen gas to suppress the emissions of brown smoke have been done. It has been found that the actual reduction in temperature notices ending 1 °C, which does not affect the process.

red fume, gaseous nitrogen, pig iron

Кравець Василь Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: придушення бурого диму.

Лоцман Ганна Олександрівна – асистент кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: придушення бурого диму.

Кравець Василий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: подавление бурого дыма.

Лоцман Анна Александровна – ассистент кафедры прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: подавление бурого дыма.

Kravets Vasily – DSc (Eng.), Professor, Manager, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: suppression of brown.

Lotsman Anna – the assistant, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: suppression of brown smoke.

УДК 628.35

В. И. НЕЗДОЙМИНОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОДНОИЛОВЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОКИСЛЕНИЕМ УГЛЕРОДА, НИТРИФИКАЦИИ И ДЕНИТРИФИКАЦИИ

Предложены модели для упрощенного описания процессов одноиловых биологических систем с окислением углерода, нитрификации и денитрификации при совместном культивировании гетеротрофных и автотрофных организмов активного ила при очистке сточных вод, содержащих органический субстрат и соединения азота.

нитрификация, денитрификация, автотрофные и гетеротрофные микроорганизмы, анаммокс-процесс

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Повышение эффективности очистки сточных вод непосредственно связано с разработкой кинетических моделей одноиловых биологических систем активного ила с одновременным окислением органических загрязнений и соединений азота.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Сложные процессы развития бактериальных клеток активного ила регулируются целым рядом ферментов, локализованных в цитоплазме, катализирующих окислительно-восстановительные реакции. Поэтому закономерности роста клеток активного ила и изъятие субстрата с большой достоверностью могут описываться кинетикой ферментативных реакций.

Обычно кинетика роста описывается уравнением Моно [1]

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu_m S}{K_s + S} X, \quad (1)$$

где X – биомасса микроорганизмов;

Y – максимальный коэффициент прироста биомассы;

μ_m – максимальная скорость роста культуры без лимитирования субстратом;

S – субстрат;

K_s – константа Михаэлиса, численно равная концентрации субстрата, при которой стационарная скорость реакции равна половине максимальной скорости.

Уравнение Моно, невзирая на простоту математической модели, способно описывать микробиологические процессы при совместном культивировании гетеротрофных и автотрофных организмов активного ила при очистке сточных вод, содержащих органический субстрат и соединения азота [2].

Для описания процессов, проходящих в системах с активным илом, наибольшее применение нашли предложенные Международной Водной Ассоциацией модели ASM1 и ASM3. В настоящее время в зарубежных научных изданиях указывается, что модель ASM1 является наиболее оправданной для упрощенного описания процессов биологической очистки сточных вод, содержащих органические загрязнения и соединения азота [3].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретические предпосылки использования модели ASM1 для описания одноиловых биологических систем при очистке сточных вод.

© В. И. Нездойминов, 2013

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Модель ASM1 может быть использована для описания процессов одноилловых биологических систем с окислением углерода, нитрификации и денитрификации при условии, что биомасса гомогенна и не претерпевает значительных изменений в видовом составе во времени. Прирост ила рассматривается как общий прирост биомассы в пересчете на массу вещества, удаленного из сточных вод.

Прирост гетеротрофных микроорганизмов $X_{ГМ}$ в основном формируется от трех разных процессов: аэробного роста, анаэробного роста и распада. Прирост аэробной гетеротрофной биомассы может лимитироваться легкоокисляемым субстратом S_s либо кислородом S_o . Константа полунасыщения гетеротрофов кислородом $K_{O,H}$ зависит от размера флокул ила и концентрации кислорода. С увеличением размеров флокул ухудшается диффузия кислорода.

Вклад в общую массу гетеротрофов вносят и денитрифицирующие микроорганизмы, прирост которых зависит от концентрации нитритов и нитратов S_{NO} и коэффициента полунасыщения K_{NO} денитрифицирующих гетеротрофов. Однако их прирост меньше, чем у аэробных гетеротрофов, что учитывается понижающим коэффициентом коррекции η_g . Этот понижающий коэффициент учитывает фракцию гетеротрофных бактерий, способных проводить денитрификацию [4].

Распад биомассы приводит к тому, что в биореакторе увеличивается концентрация медленно разлагаемого вещества, которое затем гидролизуется для построения нового клеточного материала с потреблением кислорода (аэробные условия) или нитрата (анаэробные условия). Распад описывается линейным уравнением по биомассе $X_{ГМ}$ с константой распада b_1 .

Дифференциальное уравнение аэробного роста гетеротрофов имеет вид [5]

$$\frac{dX_{ГМ}}{dt} = \mu_{ГМ} \frac{S_s}{K_s + S_s} \cdot \frac{S_o}{K_{O,H} + S_o} X_{ГМ} + \eta_g \mu_{ГМ} \frac{S_s}{K_s + S_s} \cdot \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_o} \cdot \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} X_{ГМ} - b_1 X_{ГМ}, \quad (2)$$

где $\mu_{ГМ}$ – максимальная скорость роста гетеротрофных микроорганизмов.

Анализируя уравнение (2) видно, что для одноилловых систем с аэробным и анаэробным ростом кислород оказывает двойное влияние на прирост гетеротрофных микроорганизмов. Если концентрация кислорода $S_o = 0$, то и величина $(S_o / (K_{O,H} + S_o)) = 0$ прирост аэробных гетеротрофных микроорганизмов отсутствует, зато максимальный прирост получают денитрифицирующие микроорганизмы, использующие связанный кислород нитратов $(K_{O,H} / (K_{O,H} + S_o)) = 1$. Увеличение концентрации кислорода приводит к снижению прироста денитрифицирующих микроорганизмов, и наоборот, прирост получают аэробные гетеротрофные микроорганизмы. Проанализируем изменения значений $(S_o / (K_{O,H} + S_o))$ и $(K_{O,H} / (K_{O,H} + S_o))$ при различных значениях S_o при условии, что единственным фактором, лимитирующим рост гетеротрофной биомассы, является концентрация кислорода. Величины $\mu_{ГМ}$ и $X_{ГМ}$ условно приняты постоянными.

Результаты расчетов при $K_{O,H} = 0,2$ г O_2 /м³ [4] сведены в табл.

Таблица – Результаты расчета

S_o , мг/дм ³	$\frac{S_o}{K_{O,H} + S_o}$	$\frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_o}$
0,1	0,33	0,67
0,5	0,71	0,29
1	0,83	0,17
2	0,91	0,09
3	0,94	0,06
4	0,95	0,05
5	0,96	0,04

Расчетные данные табл. показали, что суммарный вклад $K_{O,H} / (K_{O,H} + S_o)$ и $S_o / (K_{O,H} + S_o)$ в прирост гетеротрофной биомассы в диапазоне концентраций кислорода от 0,1 до 5,0 г O_2 /м³ есть величина постоянная.

Значения этих величин, определяющих прирост микроорганизмов, постоянно перераспределяются в зависимости от изменения концентрации кислорода. Приросту денитрифицирующих микроорганизмов явно преобладают концентрации кислорода в диапазоне 0...1 мг/дм³. В зарубежной практике такие условия принято называть условиями кислородного лимитирования [5].

Для культивирования аэробных гетеротрофных микроорганизмов предпочтительней повышенные концентрации кислорода. Таким образом, содержание кислорода в воде по-разному влияет на

рост аэробных гетеротрофных и денитрифицирующих микроорганизмов. При низких концентрациях кислорода эти два процесса могут идти одновременно. В соответствии с (рис.) концентрация кислорода $0,29 \text{ мг/дм}^3$ благоприятна для одновременного роста аэробных гетеротрофных и денитрифицирующих микроорганизмов, хотя скорости обоих процессов уменьшаются в два раза.

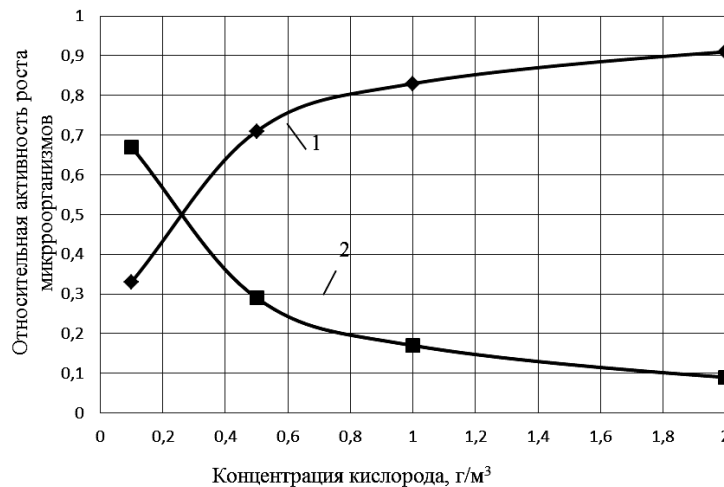


Рисунок – Зависимость относительной активности роста микроорганизмов от концентрации кислорода:
1 – аэробные гетеротрофные микроорганизмы; 2 – денитрифицирующие микроорганизмы.

Для биореактора с одноиловой системой, где культивируются аэробные гетеротрофные и денитрифицирующие микроорганизмы, необходимо обеспечивать непрерывное прохождение биомассы активного ила через аэробные и анакисидные зоны с небольшим временем пребывания в них. Это позволит поддерживать достаточно высокую относительную активность аэробных гетеротрофных и денитрифицирующих микроорганизмов. Учитывая значительную инерционность биологической системы «активный ил» по отношению к растворенному кислороду, то в определенном диапазоне значений кислорода активность этих двух групп микроорганизмов будет достаточно высокой. В соответствии с рис. оптимальный диапазон концентраций растворенного кислорода должен находиться в пределах $0,3...1,0 \text{ мг/дм}^3$.

Особенность биологической очистки сточных вод заключается в том, что концентрация органического субстрата, аммонийного азота и кислорода в обрабатываемой воде по ряду причин может меняться в течение нескольких часов. Поэтому в биологическом реакторе в зависимости от содержания в обрабатываемой воде органического субстрата и окисленных форм азота следует перераспределять объемы аэробных и анакисидных зон, не изменяя габаритные размеры самого сооружения. При этом не следует забывать, что в анакисидных зонах необходимо обеспечивать интенсивное перемешивание объема жидкости и не допускать донных отложений ила.

Из технологических и экономических соображений наиболее предпочтительным сооружением для одноиловых систем с активным илом являются биореакторы с эрлифтной системой аэрации. Изменять соотношения объемов аэробных и анакисидных зон в сооружении можно за счет изменения расхода воздуха, подаваемого в эрлифт. Установка эрлифтной системы наиболее оправдана в сооружениях большого заглубления, имеющих малые размеры в плане и значительную глубину.

Модель ASM1 не учитывает наличие анакисических зон внутри флокулы, в которых процесс денитрификации не тормозится при повышенных концентрациях кислорода в жидкой фазе.

Аэробный рост автотрофной биомассы связан непосредственно с нитрификацией и зависит от концентрации аммония S_{NH} и кислорода S_O , а также от распада автотрофных микроорганизмов X_{AOB} с константой b_2 . Частично аммоний используется для синтеза биомассы. Дифференциальное уравнение, описывающее прирост автотрофов при нитрификации для аммонийокисляющих бактерий (АОБ)

$$\frac{dX_{AOB}}{dt} = \mu_{AOB} \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \cdot \frac{S_O}{K_{O1} + S_O} X_{AOB} - b_2 X_{AOB}, \quad (3)$$

для нитритокисляющих бактерий (НОБ):

$$\frac{dX_{\text{НОВ}}}{dt} = \mu_{\text{НОВ}} \frac{S_{\text{NO}}}{K_{\text{NO}} + S_{\text{NO}}} \cdot \frac{S_{\text{O}}}{K_{\text{O}_2} + S_{\text{O}}} X_{\text{НОВ}} - b_2 X_{\text{НОВ}} \quad (4)$$

У этих групп нитрифицирующих микроорганизмов различное сродство к кислороду, которое оценивается константой полунасыщения O_2 . Значение K_{O_1} для АОВ равно 0,3 мг/дм³, а K_{O_2} для НОВ равно 1,2 мг/дм³ [4]. Это означает, что при одной и той же концентрации кислорода прирост АОВ в четыре раза превышает прирост НОВ. Исследованиями установлено [5], что малые концентрации кислорода благоприятствуют росту аммонийоокисляющих бактерий и частично ингибируют рост нитроокисляющих бактерий. Наличие нитритов и аммония (при отсутствии ингибирования) способствуют развитию анаммокс-бактерий, для которых нитрит является акцептором электронов.

Прирост анаммокс-бактерий можно выразить дифференциальным уравнением:

$$\frac{dX_{\text{Анам}}}{dt} = \mu_{\text{Анам}} \frac{S_{\text{NH}}}{K_{\text{NH}} + S_{\text{NH}}} \cdot \frac{S_{\text{NO}}}{K_{\text{NO}} + S_{\text{NO}}} \cdot \frac{K_{\text{OH}}}{K_{\text{OH}} + S_{\text{O}}} X_{\text{Анам}} - b_A X_{\text{Анам}}. \quad (5)$$

Лимитирование кислородом S_{O} обеспечивает максимальный прирост анаммокс-бактерий. В случае относительного избытка кислорода получают развитие нитритоокисляющие бактерии, которые накопленный нитрит переводят в нитрат, снижая рост анаммокс-бактерий. Оптимальный рост нитрифицирующих АОВ и анаммокс-бактерий, а следовательно, и эффективность удаления соединений азота, зависит от соотношения концентраций аммония, нитритов и кислорода.

ВЫВОД

Рекомендуется для аналитического описания процессов одноилловых систем использовать «Модель Активного Ила № 1» (ASM1), которая учитывает особенности роста аэробных гетеротрофных, нитрифицирующих, денитрифицирующих микроорганизмов, а также анаммокс-бактерий при очистке сточных вод.

Произведен численный анализ влияния кислорода на прирост гетеротрофных аэробных и денитрифицирующих микроорганизмов. Максимальному приросту денитрифицирующих микроорганизмов соответствует концентрация кислорода 0...1 мг/дм³. При концентрации кислорода равной нулю рост аэробных микроорганизмов отсутствует.

Расчетом показано, что для одновременного роста аэробных гетеротрофных и денитрифицирующих микроорганизмов концентрацию кислорода нужно поддерживать 0,29 мг/дм³, хотя при этом скорости обоих процессов уменьшаются в два раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод [Текст] / С. В. Яковлев, С. В. Карюхина. – М. : Стройиздат, 1980. – 200 с.
2. Варфоломеев, С. Д. Биотехнология. Кинетические основы микробиологических процессов [Текст] : Учебное пособие / С. Д. Варфоломеев, С. В. Калужный. – М. : Высш. школа, 1990. – 296 с.
3. Jeppsson, U. Modelling aspects of wastewater treatment processes [Текст] : Ph.D. thesis / Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund Institute of Technology, U. Jeppsson. – Sweden, 1996. – 428 p.
4. Henze, Mogens. Activated Sludge Model: No. 2 [Текст] / Mogens Henze. – London : IWA Publishing, 1995. – 36 p. – ISBN 1-900222-00-0.
5. Activated Sludge Model No. 3 [Текст] / W. Gujer, M. Henze, T. Mino, Van Loosdrecht M. // Water Science and Technology. – 1999. – 39(1). – P. 183–193.

Получено 09.10.2013

В. І. НЕЗДОЙМІНОВ

**КІНЕТИЧНІ МОДЕЛІ ОДНОМУЛОВИХ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ З
ОКИСЛЕННЯМ ВУГЛЕЦЮ, НІТРИФІКАЦІЇ ТА ДЕНІТРИФІКАЦІЇ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Запропоновано моделі для спрощеного опису процесів одномулових біологічних систем з окисленням вуглецю, нитрифікації і денитрифікації при спільному культивуванні гетеротрофних і автотрофні організмів активного мулу при очищенні стічних вод, що містять органічний субстрат і сполуки азоту.
нитрифікація, денитрифікація, автотрофні і гетеротрофні мікроорганізми, анаммокс-процес

VIKTOR NEZDOYMINOV
KINETIC MODELS OF BIOLOGICAL SYSTEMS WITH THE OXIDATION OF
CARBON, NITRIFICATION AND DENTRIFICATION

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The models to describe the processes biological systems with carbon oxidation, nitrification and dentrification when co-cultured heterotrophic and autotrophic organisms in activated sludge wastewater containing organic substrate and nitrogen compounds have been suggested.

nitrification, dentrification, autotrophic and heterotrophic microorganisms anammox – process

Нездойминов Віктор Іванович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: біологічна очистка стічних вод.

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой водоснабжения, водотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: биологическая очистка сточных вод.

Nezdoyminov Viktor – PhD, Associate Professor, Head of Department of Water Supply, Sanitation and Water Conservation, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: biological treatment of wastewater.

УДК 629.13

А. Н. НАЗАРЕНКО

Запорожская государственная инженерная академия

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения группы потребителей водой в требуемых количествах и требуемого качества. Кроме того, система производственного водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, то есть обеспечивать снабжение потребителей водой без снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды. Система оборотного водоснабжения позволяет резко снизить количество сбрасываемых сточных вод и уменьшить потребности в свежей воде, что дает большой экономический и экологический эффект. Для повышения эффективности технологического процесса охлаждения воды и обеспечения энергосбережения на охлаждающих установках целесообразно внедрение автоматизированных систем управления водооборотными циклами.

водооборот, система регулирования, контроллинг, качество воды, экологичность, надежность, оборудование, тепло, охладитель, датчики, экономичность, экономика

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для обеспечения надежности технологического процесса обеспечения охлаждения воды в цикле необходимо осуществление некоторых аспектов:

1. Подача требуемого количества охлажденной питательной воды.
2. Отвод нагретой и загрязненной воды от технологического оборудования.
3. Недопущение аварийных и нештатных ситуаций.

Внедрение управляемой системы контроллинга оборотного водоснабжения предоставляет возможности, позволяющие решить поставленные задачи.

Переоборудование, замена или применение управляемой системы оборотного водоснабжения позволит повысить качество выпускаемой предприятием продукции, уменьшить капиталовложения, предупредить и уменьшить количество аварийных ситуаций.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Оборотные системы водоснабжения широко используются в системах водяного охлаждения как на предприятиях теплоэнергетического комплекса, так и на многих других производствах. К оборотным системам можно также отнести закрытые системы теплоснабжения.

Что касается предприятий, использующих воду как технологическое сырье, то подавляющее большинство из них применяет морально устаревшие схемы водного хозяйства, когда для водоснабжения берется свежая вода, а все образующиеся сточные воды (отработанные технологические растворы, продувочные воды, воды от мойки оборудования и помещений и т. д.) единым потоком проходят очистные сооружения и сбрасываются в водоемы.

Во всех отраслях промышленности используется различное энергопотребляющее оборудование:

- сталеплавильное оборудование;
- компрессорные установки;
- холодильные машины и кондиционеры;
- термопластавтоматы;
- установки токов высокой частоты;

- радиоэлектронные устройства;
- технологическое оборудование легкой и пищевой промышленности.

Рабочие процессы в энергопотребляющем оборудовании, как правило, требуют отведения и рассеяния в окружающей среде тепловых потоков. Сначала через теплообменные аппараты и охлаждаемые узлы оборудования пропускают наиболее эффективный промежуточный теплоноситель – воду. Для того чтобы многократно использовать одну и ту же воду в замкнутом контуре оборотного водоснабжения, ее необходимо охладить. Наиболее эффективный и распространенный способ это сделать – рассеять тепловой поток в атмосферном воздухе.

Охлаждающей водой, нагретой в тепловыделяющем оборудовании, можно распорядиться по-разному, но вариантов фактически три и все они известны. По первому, вода сбрасывается в канализацию, т. е. прямоточная система водоснабжения. Вероятно, что в настоящее время это неприемлемо ни по экологическим, но и по экономическим соображениям. По второму варианту, нагретая (условно чистая) вода используется в технологии предприятия. Такое решение самое привлекательное, так как одновременно утилизируется и полученное ею от оборудования тепло. Однако возможность даже частичного использования нагретой охлаждающей воды встречается крайне редко и составляет тысячные доли процента от общей массы ее потребления. Остается последнее – нагретую воду охладить и повторно использовать, то есть организовать водооборотную систему. Этот вариант является преимущественным в общемировой практике, а усилия специалистов энергетиков направлены на совершенствование техники и технологии таких систем.

Чтобы понять, как наилучшим образом организовать замкнутое использование охлаждающей воды, введем понятие некой «идеальной системы». В нашем представлении это кольцо (возможно, с местными разветвлениями), по которому насосом прокачивается вода. Проходя через потребителей, она нагревается, а в охлаждающем устройстве отдает полученное тепло. Потери воды в системе и подпитка отсутствуют, водяной контур полностью закрытый (рис. 1).

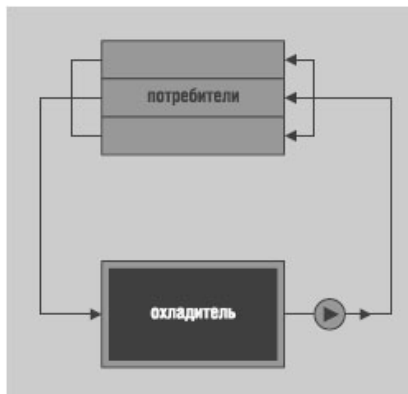


Рисунок 1 – Схема «идеальной системы».

Здесь мы не конкретизируем способ охлаждения воды и дальнейший путь отобранного тепла. Отметим лишь, что в подавляющем большинстве случаев это тепло тем или иным способом рассеивается в окружающей среде. Применение таких систем крайне ограничено по следующим причинам.

Во-первых, избежать потерь воды и, соответственно, подпитки оказалось в реальных производственных условиях практически невозможно. Во-вторых, что более существенно, сухие градирни – сложные, громоздкие, дорогостоящие и весьма энергоемкие устройства. В-третьих, нижний предел охлаждения в них на 5–8 °С (а при загрязненных поверхностях и на 12–18 °С) выше температуры окружающего воздуха, то есть летом температура охлажденной воды 40 °С и выше, что во многих производственных процессах недопустимо. «Сухая градирня» – это поверхностный теплообменник вода-воздух, где вода движется в трубках, обдуваемых с помощью вентилятора воздухом (рис. 2). Так как коэффициенты теплоотдачи от поверхности трубок к воздуху на 1,5–2,0 порядка ниже, чем от воды к трубкам, последние снаружи оребряют. Отложение грязи в зазорах между шайбами оребрения и накипи с внутренней стороны резко снижают эффективность теплообмена, а очистка поверхностей – трудоемкий и затратный процесс. И, наконец, главное – удельный расход электроэнергии в таких аппаратах в 7–10 раз выше, чем в традиционных вентиляторных градирнях.

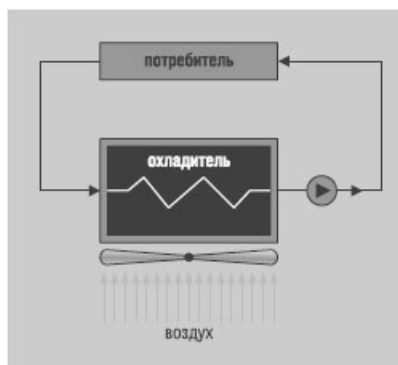


Рисунок 2 – Замкнутая схема с «сухой» градирней.

Для водоемких промышленных предприятий, расположенных в черте города, которые могут использовать малоочищенную или неочищенную воду, обычно устраивают самостоятельные (отдельные от городского) производственные водопроводы. Подобные водопроводы сооружают для групп предприятий, размещенных в одном районе города.

ЦЕЛИ

Исходя из литературного обзора подходов к решению данной проблематики можно подытожить: вода, используемая в системе водооборота – техническая; в состав системы входит брызгально-эжекционная градирня; система смешанная; по территориальному признаку – локальной; по способу подачи воды – с механической (применяются насосы) подачей воды; по кратности использования – система с обратным водоснабжением; организация оборотных циклов построена по комбинированному принципу.

Необходима разработка системы контроллинга состояния комбинированных оборотных циклов промышленных предприятий.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Автоматизация технологии водоочистки необходима для своевременного реагирования на непредвиденные ситуации и локализации аварийных ситуаций. К техническим средствам автоматизации относятся все устройства, входящие в систему управления и предназначенные для получения информации, ее передачи, хранения и преобразования, а также для осуществления управляющих и регулирующих воздействий на технологический объект управления.

Критерием всех решений по разработкам и внедрению новых средств должен быть суммарный экономический эффект с учетом всех затрат на разработку, производство и внедрение. Соответственно к разработке, изготовлению следует принимать прежде всего те варианты технических средств, которые обеспечивают максимум суммарного эффекта.

Система автоматического управления – это совокупность объекта управления (управляемого технологического процесса) и управляющих устройств, взаимодействие которых обеспечивает автоматическое протекание процесса в соответствии с заданной программой. В случае процесса обратного водоснабжения готовым продуктом является охлажденная вода с заданными параметрами (температура, давление, солесодержание и т. д.), а сырьем – наружный воздух, отработанная вода, которая попадает на повторную обработку, электроэнергия и др.

В основу функционирования системы автоматического управления процессом обратного водоснабжения, как и любой системы управления, должен быть положен принцип обратной связи (ОС): выработка управляющих воздействий на основе информации об объекте, полученной с помощью датчиков, установленных или распределенных на объекте.

На ЧАО «Запорожжкран» применяется система обратного водоснабжения, в которой используется для охлаждения оборотной воды брызгально-эжекционная градирня. Данный технологический процесс не автоматизирован и запускается непосредственно с началом производственных процессов, где необходимо применение охлажденной воды.

Автоматизация технологического процесса охлаждения воды может быть:

– частичной (с функциями частотного регулирования, мониторинга и дистанционного управления);

– полной (автоматическое регулирование и управление без непосредственного участия человека). Частичная автоматизация технологического процесса, предполагающая использование программируемого логического контроллера, обеспечивает:

- реализацию функции сбора данных;
- выработку управляющих воздействий;
- поддержание оптимального режима с целью минимизации энергетических затрат на эксплуатацию основного энергопотребляющего оборудования (в основном насосы, насосные станции);
- диагностику и прогнозирование неисправностей теплотехнической и электромеханической частей системы.

Полная автоматизация технологического процесса охлаждения воды предполагает:

- комплекс мероприятий по переоснащению оборудования технологического процесса устройствами защиты и/или диагностики;
- замену существующих исполнительных механизмов и контрольно-измерительных приборов и аппаратуры (КИПиА) на новые, которые позволяют производить мониторинг, диагностику и управление в реальном времени без участия человека.

Основным звеном в такой системе тоже является программируемый логический контроллер, связанный с верхним уровнем системы и обеспечивающий:

- автоматическое управление всеми технологическими процессами;
- передачу измеренных значений физических величин на АРМ (автоматизированных рабочих мест) диспетчеров автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП);
- защиту и блокировку оборудования и исполнительных механизмов;
- предупредительную и аварийную сигнализацию.

Полная автоматизация технологического процесса связана с реализацией функций регулирования, мониторинга, диагностики и управления. Она позволяет не только добиться высоких показателей эффективности производства охлажденной воды и снизить затраты электроэнергии, но и увеличить срок службы оборудования и повысить безопасность технологического процесса.

Систему оборотного водоснабжения любого предприятия в общем случае можно представить состоящей из следующих компонентов:

- промышленные потребители, использующие оборотную воду для охлаждения машин, аппаратов и рабочих сред;
- насосные станции с системой водоподготовки для обеспечения циркуляции воды в системе;
- охлаждающие установки (градирни);
- устройства реагентного хозяйства для оптимальной корректировки водно-химического режима системы;
- запорно-регулирующая арматура.

Так как применяемая на производстве градирня (и сама система водооборота в целом) не имеет вентиляторов, а также будем учитывать, что пользование насосными станциями не изменилось, то основное место в системе будет занимать регулирующий клапан с заслонкой на подающем трубопроводе. Следовательно, в нашем случае именно регулирующий клапан с заслонкой является объектом управления, т. е. при непосредственном влиянии на заслонку (угол открытия) меняется объем проходящей по трубе нагретой воды, соответственно изменяется объем воздуха эжектируемый внутрь градирни этой водой – вместе с этим увеличивается площадь контакта воды и воздуха, таким образом происходит охлаждение нагретой технической воды. Т. е. система функционирует. Но также следует отметить, что в данной системе мы управляем лишь параметрами температуры воды и не рассматриваем прочие происходящие процессы в системе (например тепломассообмен внутри самой градирни).

Опишем необходимый функциональный минимум, которым по итогам проектирования и разработки должна обладать система автоматического управления процессом оборотного водоснабжения:

- контроль и регулирование параметров оборотной воды;
- контроль полученных параметров воды в процессе доставки до места ее непосредственного применения в технологическом процессе.
- регулирование температуры в процессе охлаждения в брызгально-эжекционной градирне;
- индикация аварийных состояний (светодиодами);
- предусмотреть 2 режима работы (автоматического и ручное управление).

Математическая модель системы автоматического управления процессом оборотного водоснабжения представлена на рисунке 3.

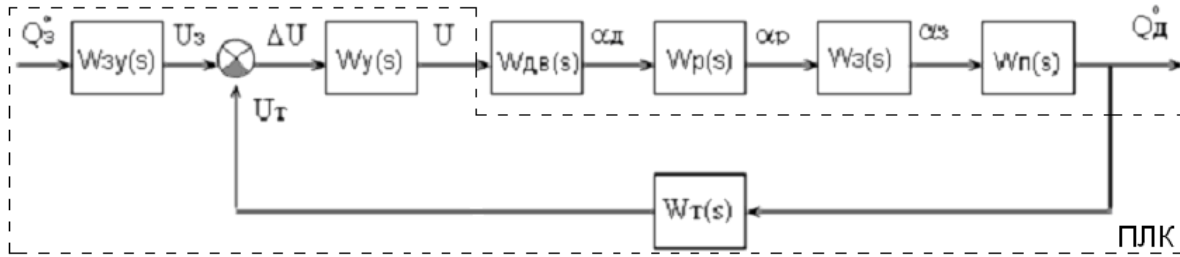


Рисунок 3 – Математическая модель системы автоматического управления: условные обозначения: $W_{zy(s)}$ – передаточная функция задающего устройства; $W_{y(s)}$ – передаточная функция усилителя; $W_{дв(s)}$ – передаточная функция электродвигателя; $W_{р(s)}$ – передаточная функция редуктора; $W_{п(s)}$ – передаточная функция паропровода; $W_{з(s)}$ – передаточная функция заслонки; $W_{т(s)}$ – передаточная функция термодатчика; ПЛК – программируемый логический контроллер (обведенные пунктиром структурные компоненты – составляют часть логического контроллера, работающего в форме П-регулятора с обратной связью по датчику температуры).

Разработку математической модели переходных процессов в наиболее простом варианте начнем с описания процессов, происходящих в градирне. По сигналу от датчика температуры воды, находящегося на входе в градирню, изменяется угол наклона заслонки запорно-регулирующего клапана. Следовательно, контур регулирования является замкнутым.

Структурная схема САУ для системы оборотного водоснабжения изображена на рис. 4. При ее построении учтено, что в силу принятого способа регулирования входным параметром для градирни являются переменные теплоступления или теплотери Q , Вт, а выходным – температура охлажденной воды $t_{вхл}$, °С. Собственно САУ в этом случае играют роль отрицательной обратной связи для градирни по каналу « $Q-t_{вхл}$ ».

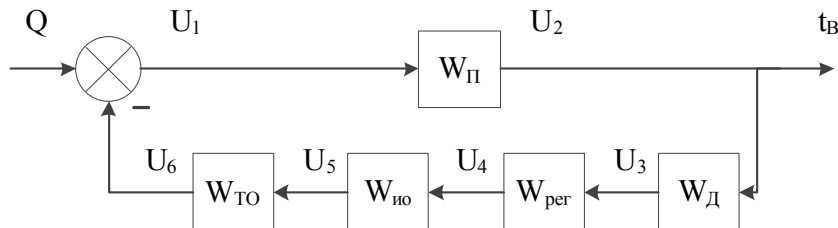


Рисунок 4 – Структурная схема САУ водооборота: $W_{рег}$ – передаточная функция регулятора; $W_{ю}$ – передаточная функция исполнительного органа (клапан с электроприводом); $W_{то}$ – передаточная функция трубопровода; $W_{п}$ – передаточная функция помещения; $W_{д}$ – передаточная функция датчика; группа блоков, находящихся в обратной связи, рассчитана в п. 4.2; $U_1...U_6$ обозначают сигналы после промежуточных звеньев системы.

Тогда математическая модель переходного процесса в САУ будет иметь вид:

$$W_{сист} = \frac{W_{п}}{1 + W_{д} \cdot W_{рег} \cdot W_{ю} \cdot W_{то} \cdot W_{п}} \quad (1)$$

В соответствии с ранее данным определением и схемой САУ, приведенной на рис. 3, по физическому смыслу $W_{сист}$ здесь представляет изменение $t_{вхл}$ с течением времени при единичном тепловом воздействии, т. е. при $Q = 1$ Вт.

Следовательно, размерность $W_{сист}$ должна быть [°С/Вт]. Тогда передаточная функция САУ при использовании позиционного регулятора в линейном варианте будет выглядеть следующим образом:

$$W_{сист}(p) = \frac{a_1 \cdot p^2 + a_2 \cdot p + a_3}{a_4 \cdot p^3 + a_5 \cdot p^2 + a_6 \cdot p + a_7} \quad (2)$$

где $a_1...a_7$ – коэффициенты, получающиеся при подстановке в (1) передаточных функций элементов САУ с учетом их коэффициентов передачи и постоянных времени, s – некоторый комплексный параметр, имеющий размерность c^{-1} .

Выражение (2) представляет переходный процесс в виде изображения, получаемого из переходной функции – оригинала с помощью интегрального преобразования Лапласа. Рекомендуется получать значение оригинала переходной функции, используя приближенное аналитическое моделирование. Его сущность заключается в формальной замене оператора s на $1/\tau$, где τ – время с момента воздействия на систему, с.

Подставим известные передаточные функции, полученные в п. 1.2, в выражение (1), смоделируем процесс регулирования температуры воды в градирне, при этом пренебрежем величиной теплопотерь Q . Процесс моделирования проведем для ряда выбранных значений входных напряжений и коэффициента передачи пропорционального регулятора $k_p = 3,75$ (угл. град/В). Так как диапазоны регулирования и значение коэффициента передачи малы, то это не приведет к сильному ухудшению качества работы системы. Чем больше выбран пропорциональный диапазон регулирования, тем большей будет величина статистической ошибки. При малой величине пропорционального диапазона увеличивается время переходных процессов, и при некоторых условиях может возникнуть автоколебательный (незатухающий) процесс в контуре регулирования.

Передаточную функцию помещения без учета его динамического сопротивления рекомендуется принять за:

$$W_{\text{Пом}}(z) = \frac{K_{\text{нач}}}{s}, \quad (3)$$

где

$$K_{\text{нач}} = \frac{1}{V \cdot c \cdot \rho}, \quad (4)$$

здесь V – объем помещения, м³;

$c = 4182$ Дж/(кг·К),

$\rho = 3,434$ кг/м³ – соответственно удельная теплоемкость и плотность внутреннего воздуха.

Подставив числовые значения объявленных величин, рассчитаем, что значение начального коэффициента равно: $2,785 \cdot 10^{-8}$.

Из графика переходного процесса, приведенного на рис. 5, видно, что требования к качеству работы системы выполняются при средних значениях входного напряжения, САР температуры воды относительно регулирования по положению заслонки работает с заданной точностью.

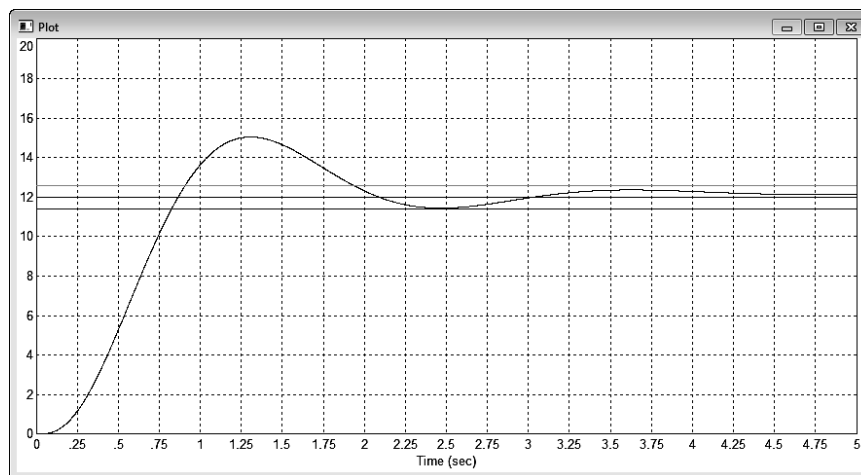


Рисунок 5 – Переходный процесс оборотного водоснабжения по регулированию температуры при $U_{\text{вх}} = 12$ В и $k_p = 3,75$ угл. град/В.

Как видно из графика переходного процесса, представленного на рис. 6, регулирование посредством изменения управляющего напряжения удовлетворяет качественным требованиям переходного процесса: величина перерегулирования – 32,5 %, время регулирования – 2,76 с, данная величина полностью удовлетворяет первоначальным требованиям. Также из графика видно, что у системы появилась установившаяся ошибка – следствие использования принципа пропорционального регулирования, впрочем, находящаяся в допустимом коридоре точности – 5 %, что полностью устраивает.

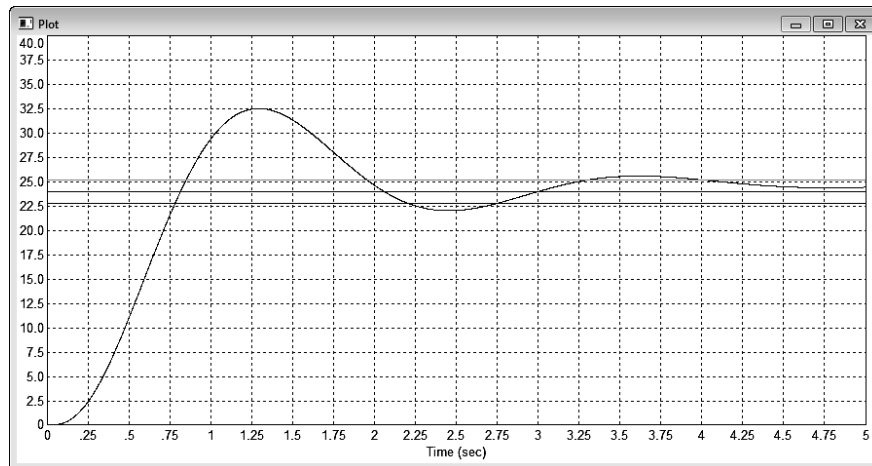


Рисунок 6 – Переходный процесс обратного водоснабжения по регулированию температуры при $U_{\text{ex}} = 24$ В и $k_p = 3,75$ угл. град/В.

Таким образом, по итогам описания технических средств автоматизации, входящих в состав САУ процессом обратного водоснабжения, а также составления их математических моделей и параметров для управления ими, определения значений констант, можно приступить к разработке управляющей программы ПЛК.

Для корректной работы разрабатываемой системы САУ необходимо протестировать и отладить управляющую программу. Отладка программ заключается в проверке правильности работы программы и аппаратуры. Программа, не содержащая синтаксических ошибок, тем не менее может содержать логические ошибки, не позволяющие программе выполнять заложенные в ней функции.

ВЫВОДЫ

Применение системы автоматизации управления водно-химическим режимом предприятия необходимо, так как её использование приводит к экономии энергоресурсов. Кроме того, подобная реализация САУ позволит сделать оборудование менее зависимым от человеческого фактора, что позволит продлить срок его службы и избежать поломок по невнимательности оператора и нарушению порядка действий.

Внедрение предлагаемой системы автоматического управления процессом обратного водоснабжения с экономической точки зрения целесообразно на всех предприятиях. На машиностроительных предприятиях Запорожской области такой концептуальный подход позволяет повторно использовать промывные воды и экономить до 18 % объема системы. Замыкание оборотной системы с последующей утилизацией металлического осадка позволит повысить эту цифру до 22 %, тем самым повышая экологичность предприятия. Подобный подход можно выполнить и к другим промышленным предприятиям, тем самым улучшая экологический эффект региона и внедряя принципы ISO 14001. Окупаемость капитальных вложений составляет 0,6 года (185 дней), что тоже соответствует условиям целесообразности внедрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]. – Взамен СНиП II-31-74 ; введ. 1985-01-01. – М. : ГП ЦПП, 1996. – 26.
2. ВППБ 01-02-95*. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий [Текст]. – Введ. 2000-03-09. – М. : НЦ ЭНАС, 2004. – 63 с.
3. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов [Текст] / С. В. Белов. – М. : Высш. шк., 1999. – 448 с.
4. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Наука, 1972. – 767 с.
5. Востриков, А. С. Теория автоматического регулирования [Текст] / А. С. Востриков, Г. А. Французова. – М. : Высшая школа, 2004. – 365 с.
6. Пособие по проектированию градирен [Текст] : (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИ ВОДГЕО ГОССТРОЯ СССР. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 192 с.

7. Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях [Текст] : производственно-практическое издание / В. М. Макаров, Ю. П. Беличенко, В. С. Галустов, А. М. Чуфаровский. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
8. Галустов, В. С. Современные методы, системы и оборудование охлаждения оборотной воды [Текст] : обзор. информ. / В. С. Галустов, Ю. П. Беличенко. – М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. – 48 с. – (Компрессорное машиностроение).
9. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования [Текст] / Б. Е. Рябчиков. – М. : ДеЛи принт, 2004. – 328 с.
10. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод [Текст] / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 328 с.
11. Шабалин, А. Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий [Текст] / А. Ф. Шабалин. – М. : Стройиздат, 1972. – 296 с.

Получено 10.10.2013

О. М. НАЗАРЕНКО
РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ СИСТЕМ
ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ
Запорізька державна інженерна академія

Система водопостачання являє собою комплекс споруд для забезпечення групи споживачів водою в необхідних кількостях і необхідної якості. Крім того, система виробничого водопостачання повинна мати певний ступінь надійності, тобто забезпечувати постачання споживачів водою без зниження встановлених показників своєї роботи стосовно кількості або якості води, що подається. Система оборотного водопостачання дозволяє різко знизити кількість скинутих стічних вод і зменшити потреби у свіжій воді, що дає великий економічний і екологічний ефект. Для підвищення ефективності технологічного процесу охолодження води та забезпечення енергоощадження на охолоджувальних установках доцільне впровадження автоматизованих систем управління водообігового циклу.
водообіг, система регулювання, контролінг, якість води, екологічність, надійність, обладнання, тепло, охолоджувач, датчики, економічність, економіка

OLEXIY NAZARENKO
DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF RELIABILITY MANAGEMENT
SYSTEMS OF INDUSTRIAL WATER SUPPLY
Zaporozhe State Engineering Academy

The water supply system is a complex of structures for water user groups at the required quantities and required quality. Furthermore, industrial water supply system should have a certain degree of reliability, i. e. to provide water supply to customers without lowering the performance of its work on the quantity or the quality of water. Water recycling system can dramatically reduce the amount of sewage and reduce the need for fresh water, which makes it a great economic and environmental benefits. To improve the efficiency of the process cooling water and provide energy for cooling facilities it is the introduction of automated control systems for water cycle.
water cycle, the regulatory system, controlling water quality, environmental friendliness, safety, equipment, heat, cooling, sensors, economy, economy

Назаренко Олексій Миколайович – доцент кафедри теплоенергетики Запорізької державної інженерної академії. Наукові інтереси: розвиток загальної концепції екологізації промислових підприємств шляхом замикання систем виробничого водопостачання методом збереження стабільності водно-хімічного балансу. Участь у розробці технологічних норм проектування водного господарства підприємств.

Назаренко Алексей Николаевич – доцент кафедры теплоэнергетики Запорожской государственной инженерной академии. Научные интересы: развитие общей концепции экологизации промышленных предприятий путем замыкания систем производственного водоснабжения методом сохранения стабильности водно-химического баланса. Участие в разработке технологических норм проектирования водного хозяйства предприятий.

Nazarenko Olexiy – the Associate Professor, Heat-power Engineering Department, Zaporozhskaya State Engineering Academy. Scientific interests: development of the overall concept of greening the industry by closing industrial water supply systems by maintaining stability of water and chemical balance. Participation in the development of technology standards for design water management enterprises.

УДК 697.4

В. Д. ПЕТРАШ, Д. В. БАСИСТ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В результате исследования предложенной системы водяного отопления многоэтажного здания с промежуточным размещением теплообменника установлена возможность существенного повышения гидравлической и тепловой устойчивости, энергетической эффективности со снижением капитальных затрат.

отопление, теплообменник, энергетическая эффективность, гидравлическая устойчивость

Как нижнее [1], так и верхнее размещение источника теплоты («крышные» котельные) [2], получившее распространение в системах водяного отопления, кроме преимуществ, имеют свои недостатки. Они определяются прежде всего влиянием переменного гравитационного давления, которое является совпадающим либо противонаправленным по действию относительно насосного давления. Доля гравитационной составляющей от располагаемого давления в современных автоматизированных системах отопления зданий высотой от 5 до 25 этажей достигает 25–45 % [3]. Это вносит существенный негативный вклад в вертикальную разрегулировку систем, а следовательно, в стоимость средств автоматики и увеличение энергозатрат, связанных с эксплуатационным регулированием переменной тепловой мощности систем отопления.

В зарубежной и отечественной практике [4, 5, 6] в последние годы находят оправданные по энергоэкономическим и функциональным условиям решения, предусматривающие устройство технических этажей для размещения элементов инженерных систем как в высотных зданиях, так и в зданиях повышенной этажности до 55 м. Характерно, что повышение теплогидравлической устойчивости систем отопления за счет применения терморегулирующих средств, в том числе регулирующих клапанов у нагревательных приборов с повышенным гидравлическим сопротивлением, а также автоматических устройств снижения располагаемых давлений в стояках и магистралях, представляется во многом не обоснованным, поскольку они, выполняя основное функциональное назначение, сами привносят весьма существенное дополнительное гидравлическое сопротивление. В результате расчетное сопротивление современных автоматизированных систем за последнее 20 лет выросло в 2–3 раза, а удельная стоимость средств автоматики достигла 15–20 % относительно общей стоимости систем.

Закономерно, что размещение теплообменников на вполне определенном уровне по высоте здания способно снизить и даже исключить действие главного фактора вертикальной гидравлической разрегулировки, при которой достигается минимизация результирующего действия гравитационного давления, возникающего в циркуляционном контуре системы отопления. При этом очевидна энергетическая и экономическая целесообразность применения образующихся систем со «средней разводкой» распределительных и сборных магистралей, размещаемых на уровне теплоисточника.

Разрабатываемые высотные жилые здания в соответствии с общими требованиями по вертикали делятся на соответствующие зоны, в пределах в каждой из которых предусматривается устройство систем отопления с зависимым либо независимым подключением к тепловой сети (к теплогенератору) с учетом допустимой прочности элементов систем. Характерные варианты технических решений, применяемых для отопления согласно [4, 5, 6], иллюстрируются на примере устройства системы, характерной для современного строительства многоэтажных жилых зданий (рис. 1).

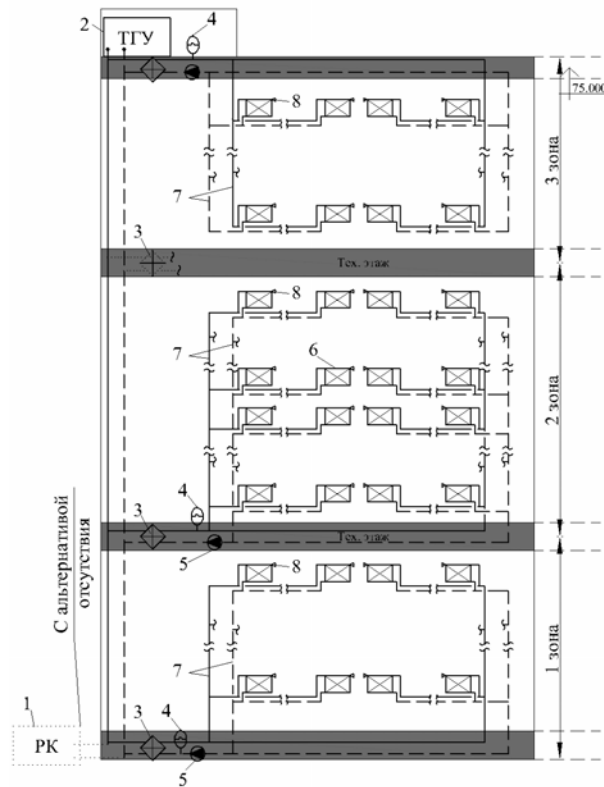


Рисунок 1 – Применяемые схемы систем отопления многоэтажных жилых зданий: 1 – районная либо местная котельная; 2 – теплогенерирующая установка (крышная котельная); 3 – поверхностный теплообменник; 4 – расширительный бак; 5 – циркуляционный насос; 6 – отопительный прибор; 7 – главный стояк; 8 – кран индивидуального удаления воздуха.

Авторами предложен новый подход к устройству систем отопления многоэтажных зданий с промежуточным устройством теплообменника и магистралей [7, 8] (рис. 2), когда в подающем и обратном главных стояках противонаправленное гравитационное давление наиболее невыгодного циркуляционного контура компенсируется действием возникающего гравитационного давления в верхней его части.

Указанному условию может удовлетворять двухтрубная структура стояка с общими узловыми точками подключения его к магистральям.

В рассматриваемом контуре системы отопления исключение гравитационной составляющей в располагаемом перепаде давления с насосной циркуляцией определяется условием равенства противонаправленных гравитационных давлений, возникающих в верхней и нижней зонах стояка, т. е.

$$\Delta P_e^B = \Delta P_e^H. \quad (1)$$

В двухтрубном главном стояке (рис. 2) максимальные значения гравитационных давлений в общих узловых точках А и Б для верхней и нижней зон определяются по соответствующим зависимостям [9]

$$\Delta P_e^B = \beta q (1 - x) H (t_r - t_o), \quad (2)$$

$$\Delta P_e^H = \beta q x H (t_r - t_o). \quad (3)$$

Для исключения негативного влияния общего значения противонаправленных величин гравитационного давления в циркуляционном контуре двухтрубного главного стояка относительный уровень размещения теплообменника по высоте системы согласно условию (1) определяется на основе зависимостей (2) и (3), исходя из чего

$$x = 0,5 + \frac{\sum_0^i n^H \times h^H - \sum_0^i n^B \times h^B}{H}. \quad (4)$$

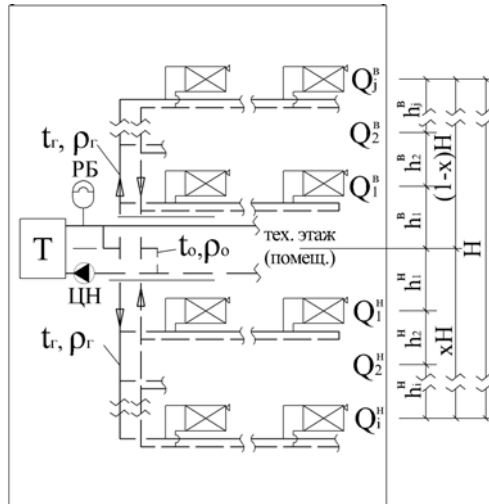


Рисунок 2 – Расчетная схема теплотопового контура многоэтажного жилого здания с промежуточным размещением теплообменника (источника теплоты) при соответствующей прокладке общих магистралей: Т – теплообменник (источник теплоты); ЦН – циркуляционный насос; РБ – расширительный бак; А, Б – общие узловые точки подающего и обратного главного стояка; ГС – главный стояк.

Из зависимости (4) следует, что для всех случаев систем отопления с двухтрубными главными стояками при одинаковой этажности и высоте этажей в нижней и верхней зонах ($n^B = n^H$ и $h^B = h^H$), относительная высота размещения теплогенератора $x = 0,5$.

При одинаковой этажности верхней и нижней зон ($\sum_{i=1}^{i=j}$) относительная высота размещения теплогенератора корректируется только отличительной разностью высот этажей в соответствии с уравнением

$$x = 0,5 + \frac{\sum_{i=1}^{i=j} n \times (h^H - h^B)}{H}. \quad (5)$$

Установлено (рис. 3), что для реального диапазона изменения анализируемого соотношения высот этажей в многоэтажных зданиях смещение центра источника теплоты Δ относительно середины общей высоты системы отопления достигает $\pm 9\%$.

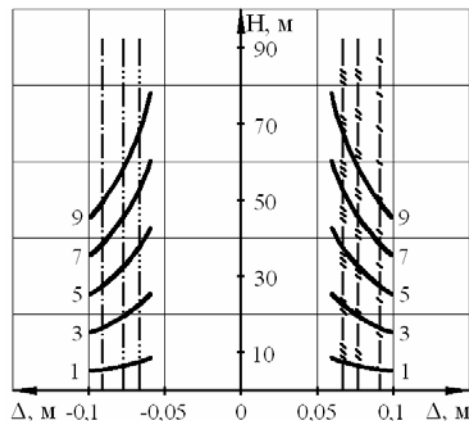


Рисунок 3 – Зависимость корректирующего значения относительного уровня размещения Δ теплоисточника от

соотношения высот этажей в верхней и нижней зонах: $1 - \sum_{i=1}^{i=j} = 1$; $3 - \sum_{i=1}^{i=j} = 3$; $5 - \sum_{i=1}^{i=j} = 5$; $7 - \sum_{i=1}^{i=j} = 7$; $9 - \sum_{i=1}^{i=j} = 9$;
 — — — — — $h^B/h^H = 2,5 \text{ м}/3,0 \text{ м}$; — — — — — $h^B/h^H = 3,0 \text{ м}/3,5 \text{ м}$; — — — — — $h^B/h^H = 3,5 \text{ м}/4,0 \text{ м}$; — — — — — $h^B/h^H = 3,0 \text{ м}/2,5 \text{ м}$;
 — — — — — $h^B/h^H = 3,5 \text{ м}/3,0 \text{ м}$; — — — — — $h^B/h^H = 4,0 \text{ м}/3,5 \text{ м}$.

На основе изложенного разработаны новые технические решения устройства системы отопления, которая представлена на рис. 4, на примере той же конструкции многоэтажного жилого здания, согласно рис. 1.

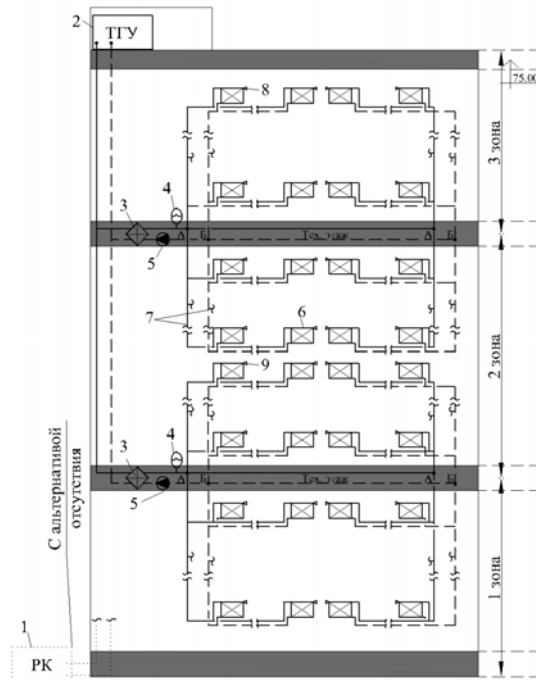


Рисунок 4 – Рекомендуемая схема системы отопления многоэтажных жилых зданий: А, Б – общие узловые точки подключения главного стояка к магистралям; 1 – районная либо местная котельная; 2 – теплогенерирующая установка (крышная котельная); 3 – поверхностный теплообменник; 4 – расширительный бак; 5 – циркуляционный насос; 6 – отопительный прибор; 7 – главный стояк; 8 – кран индивидуального удаления воздуха.

Результаты экспериментального исследования системы с промежуточным размещением источника теплоты подтвердили достоверность полученных аналитических зависимостей как по снижению характеристики сопротивления стояков предложенной структуры (в 3,3 раза при $x = 0,8$), так и по минимизации гравитационных давлений со снижением их вертикальной разрегулировки.

ВЫВОДЫ

1. В системах отопления многоэтажных жилых зданий промежуточное размещение источника теплоты минимизирует гравитационное давление, в результате чего повышается их вертикальная гидравлическая устойчивость, а соответственно уменьшается переменная часть избыточного гравитационного давления на средства автоматики. Размещение магистралей на уровне теплоисточника позволяет применять главные стояки предложенной конструкции, в результате чего существенно снижается их характеристика сопротивления, а соответственно и сопротивление всей системы при сохранении альтернативы соответствующего снижения материалоемкости.

2. Внедрение систем отопления с рациональным уровнем размещения источника теплоты, обладающих возможностями снижения капитальных и эксплуатационных затрат, предопределяет их технико-экономическую эффективность внедрения в технологию перспективного строительства многоэтажных жилых зданий.

3. Рациональный уровень размещения технического этажа для устройства теплообменника систем отопления анализируемых зданий должен корректироваться согласно полученным зависимостям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сканава, А. Н. Отопление [Текст] / А. Н. Сканава, Л. М. Махов. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.
2. Рекомендації по проектуванню дахових, вбудованих і прибудованих котельних установок та установлення побутових теплогенераторів, працюючих на природному газі [Текст] : Посібник до СНіП II-35-76 / УкрНДІінжпроект. – 2-е видання, перероблене та доповнене. – К. : УкрНДІінжпроект, 1998. – 26 с.
3. Константинова, В. Е. Надежность систем центрального водяного отопления в зданиях повышенной этажности [Текст] / В. Е. Константинова. – М. : Госстройиздат, 1976. – 183с.

4. ДБН В.3.2-2:2009. Житлові будинки. Реконструкція та капітальний ремонт. Реконструкція, ремонт, реставрація об'єктів будівництва [Текст]. – Чинний з 01.01.2010. – К. : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2010. – 18 с. – (Державні будівельні норми).
5. ДБН В.2.2-24:2009. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків [Текст]. – Чинний з 01.09.2009. – К. : Мінрегіонбуд України 2009. – 105 с. – (Державні будівельні норми).
6. ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі. Зовнішні мережі та споруди. Інженерне обладнання будинків і споруд [Текст]. – Чинний з 07.01.2009. – К. : Мінрегіонбуд України 2009. – 56 с. – (Державні будівельні норми).
7. Пат. 97991 Україна, МПК F24D 3/02. Система водяного опалення Петраша В. Д. з проміжним розміщенням теплогенератора [Текст] / Петраш В. Д., Басист Д. В. ; заявник та патентовласник Петраш В. Д., Басист Д. В. – а201001005 ; заявл. 01.02.2010 ; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7/2012. – 4 с. : ил.
8. Петраш, В. Д. Новый подход к устройству систем водяного отопления с промежуточным размещением источника теплоты [Текст] / В. Д. Петраш, Д. В. Басист // Наук. вісник будівництва ХДТУБА. – Харків : ХОТБ АБУ, 2010. – № 60. – С. 88–95.
9. Петраш, В. Д. Энергоэффективность двотрубных систем отопления с промежуточной разводкой магистралей [Текст] / В. Д. Петраш, Д. В. Басист // Наукові праці НУ «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во НУЛП, 2011. – № 55. – С. 211–220.

Получено 10.10.213

В. Д. ПЕТРАШ, Д. В. БАСИСТ
СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ
ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ
Одеська державна академія будівництва і архітектури

В результаті дослідження запропонованої системи водяного опалення багатоповерхової житлової будівлі з проміжним розміщенням теплообмінника виявлена можливість суттєвого підвищення гідравлічної та теплової стійкості, енергетичної ефективності зі зниженням капітальних витрат.

опалення, теплообмінник, енергетична ефективність, гідравлічна стійкість

VITALY PETRASH, DMITRY BASIST
THE MODERN SYSTEM OF THE WATER HEATING OF MULTI-STORY
BUILDINGS
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

As a result of research of the offered system of the water heating of multi-story buildings with the intermediate placing of heat-exchanger the possibility of substantial increase of hydraulic and thermal stability and power efficiency with a capital cost cutout have been found out.

heating, heat exchanger, energy efficiency, the hydraulic sustainability

Петраш Віталій Дем'янович – доктор технічних наук, професор кафедри опалення, вентиляції та охорони повітряного басейну Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності систем опалення, енергозбереження в системах теплопостачання.

Басист Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри опалення, вентиляції та охорони повітряного басейну Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності систем опалення, енергозбереження в системах теплопостачання.

Петраш Виталий Демьянович – доктор технических наук, профессор кафедры отопления, вентиляции и охраны воздушного бассейна Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности систем отопления, энергосбережение в системах теплоснабжения.

Басист Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры отопления, вентиляции и охраны воздушного бассейна Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности систем отопления, энергосбережение в системах теплоснабжения.

Petrash Vitaly – DSc (Eng.), professor, Heating, Ventilation and the Air basin Protection Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improving the efficiency of heating systems, energy saving in heating systems.

Basist Dmitry – PhD (Eng.), associate professor, Heating, Ventilation and the Air basin Protection Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improving the efficiency of heating systems, energy saving in heating systems.

ЗМІСТ

ТРЯКІНА А. С. Вивчення показників якості води каналу Сіверський Донець – Донбас	3
САТІН І. В. Санітарно-гігієнічна оцінка компосту з біорозпадної фракції твердих побутових відходів та осадів стічних вод	9
ТКАЧЕНКО Т. М., ХАЗІПОВА В. В., САВЕНКОВА С. В. Екологічний стан земель м. Макіївка за 2008–2011 роки	15
ЧЕРНИШЕВ В. М., ЗЯТІНА В. І. Технологія роботи муловідділювача у технології глибокої мінералізації осаду	21
ЧЕБОТАРЬОВА О. В., СЕРБІН В. А., КОЛОСОВА Н. В. Температурний режим зброджуваної маси при завантаженні в метантенк свіжої порції відходів	26
САЛІЄВ Е. І. Характеристика факторів, що визначають ремонтпридатність систем водопостачання та водовідведення	30
САВІЧ Д. В. Очищення і утилізація димових газів на Часовоярському вогнетривкому комбінаті	36
БАЛІНЧЕНКО О. І., НЕЗДОЙМІНОВ В. І. Сучасний стан водних ресурсів Макіївки	41
ОЛЕКСЮК А. О., ШИТІКОВА І. Г. Теоретичні дослідження тепломасообмінних процесів, що протікають в багатоконтурних змішувальних теплообмінних апаратах	47
КВАРТЕНКО О. М. Технологія кондиціювання агресивних підземних вод з низьким лужним резервом, які містять аміак та залізоорганічні комплекси	52
ВИБОРНОВ Д. В., МОНАХ С. І. Дослідження термодинамічного циклу роботи парокомпресійного теплового насоса, що використовує теплоту шахтної води	60
ДОЛГОВ М. В. Дослідження гідравлічного та теплового режиму триконтурного теплообмінного апарата змішувального типу	68
ЖИБОЄДОВ О. В. Параметри фільтрування та регенерації синтетичних тканинних матеріалів при їх роботі в системах біологічного очищення стічних вод	73
МАРКІН В. В. Можливості підвищення ефективності біологічної очистки стічних вод	79
НАЙМАНОВА А. А. Проблемні питання питного водопостачання Донецької області	85
АНТОНЕНКО С. Є. Теоретичні передумови ефективності електрохімічної водопідготовки	89
КИЧАТОВ В. П., УДОВИЧЕНКО З. В., ТОЛСТИХ А. С. Розробка схеми пристрою каналу подачі припливного повітря під підвіконням вікна	94
МОНАХ С. І., ВИБОРНОВ Д. В., ШАЦКОВ А. О. Проблеми вибору джерела теплоти для автономної системи теплопостачання	99
ЧУДАНОВА Є. Л., ХАЗІПОВА В. В. Зменшення відходів у напрямку одержання деревопласту	105
ПАШКОВ В. Ф., АНТОНЕНКО С. Є. Енергетична ефективність систем опалення з ручним і автоматичним балансуванням	110
ДМИТРОЧЕНКОВА Е. І. Аналіз економічної ефективності когенераційних установок на базі двигуна внутрішнього згоряння та котлоагрегату на твердому паливі	115
ВИСОЦЬКИЙ С. П., КОНДРИКІНСЬКА А. В. Економія природного газу і емісія забрудників при підігріванні води	120
НАЗАРОВА В. В. Визначення критеріїв подібності для моделювання процесу виділення шкідливих речовин з поверхні електроліту з органічними добавками	125
ЛЕСНОЙ В. І., НЕЗДОЙМІНОВ В. І., ДМІТРОВ П. О. Основні параметри впливу пневмовибуху на фільтр і прифільтрову зону водозабірної свердловини	130
МАКСИМОВА Н. А., КРАВЕЦЬ В. А. Аналіз використання природних джерел холоду для систем кондиціювання повітря	137
ЗАЙЧЕНКО Л. Г., СИНЕЖУК І. Б., ЗАДОРОВНА О. П. Порівняння технологічних витрат води для системи централізованого водопостачання Донецької області	141

КРАВЕЦЬ В. А., ЛОЦМАН Г. О. Розрахунок і експериментальна перевірка зниження температури металу в результаті подачі газоподібного азоту при наповненні ковша розплавом чавуну	146
НЕЗДОЙМІНОВ В. І. Кінетичні моделі одномолекулярних біологічних систем з окисненням вуглецю, нітрифікації та денітрифікації	150
НАЗАРЕНКО О. М. Розробка концепції управління надійністю систем виробничого водопостачання	155
ПЕТРАШ В. Д., БАСІСТ Д. В. Сучасні системи водяного опалення багатоповерхових житлових будинків	164

СОДЕРЖАНИЕ

ТРЯКИНА А. С. Изучение показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс	3
САТИН И. В. Санитарно-гигиеническая оценка компоста из биоразлагаемой фракции твердых бытовых отходов и осадков сточных вод	9
ТКАЧЕНКО Т. Н., ХАЗИПОВА В. В., САВЕНКОВА С. В. Экологическое состояние земель г. Макеевки за 2008–2011 годы	15
ЧЕРНЫШЕВ В. Н., ЗЯТИНА В. И. Технология работы илоотделителя в технологии глубокой минерализации осадка	21
ЧЕБОТАРЕВА О. В., СЕРБИН В. А., КОЛОСОВА Н. В. Температурный режим сбраживаемой массы при загрузке в метантенк свежей порции отходов	26
САЛИЕВ Э. И. Характеристика факторов, определяющих ремонтпригодность систем водоснабжения и водоотведения	30
САВИЧ Д. В. Очистка и утилизация теплоты дымовых газов на Часовоярском огнеупорном комбинате	36
БАЛИНЧЕНКО О. И., НЕЗДОЙМИНОВ В. И. Современное состояние водных ресурсов Макеевки	41
ОЛЕКСЮК А. О., ШИТИКОВА И. Г. Теоретические исследования тепломассообменных процессов, протекающих в многоконтурных змеевиковых теплообменных аппаратах	47
КВАРТЕНКО А. Н. Технология кондиционирования агрессивных подземных вод с низким щелочным резервом, содержащих аммиак и железоорганические комплексы	52
ВЫБОРНОВ Д. В., МОНАХ С. И. Исследование термодинамического цикла работы парокompрессионного теплового насоса, использующего теплоту шахтной воды	60
ДОЛГОВ Н. В. Исследование гидравлического и теплового режима трехконтурного теплообменного аппарата змеевикового типа	68
ЖИБОЕДОВ А. В. Параметры фильтрования и регенерации синтетических тканевых материалов при их работе в системах биологической очистки сточных вод	73
МАРКИН В. В. Возможности повышения эффективности биологической очистки сточных вод	79
НАЙМАНОВА А. А. Проблемные вопросы питьевого водоснабжения Донецкой области	85
АНТОНЕНКО С. Е. Теоретические предпосылки эффективности электрохимической водоподготовки	89
КИЧАТОВ В. П., УДОВИЧЕНКО З. В., ТОЛСТЫХ А. С. Разработка схемы устройства канала подачи приточного воздуха под подоконником окна	94
МОНАХ С. И., ВЫБОРНОВ Д. В., ШАЦКОВ А. О. Проблемы выбора источника теплоты для автономной системы теплоснабжения	99
ЧУДАНОВА Е. Л., ХАЗИПОВА В. В. Уменьшение отходов в направлении получения древопласта	105
ПАШКОВ В. Ф., АНТОНЕНКО С. Е. Энергетическая эффективность систем отопления с ручной и автоматической балансировкой	110
ДМИТРОЧЕНКОВА Э. И. Анализ экономической эффективности когенерационных установок на базе двигателя внутреннего сгорания и котлоагрегата на твердом топливе	115
ВЫСОЦКИЙ С. П., КОНДРЫКИНСКАЯ А. В. Экономия природного газа и эмиссия загрязнителей при подогреве воды	120
НАЗАРОВА В. В. Определение критериев подобия для моделирования процесса выделения вредных веществ с поверхности электролита с органическими добавками	125
ЛЕСНОЙ В. И., НЕЗДОЙМИНОВ В. И., ДМИТРОВ П. А. Основные параметры воздействия пневмовзрыва на фильтр и прифильтровую область водозаборной скважины	130

МАКСИМОВА Н. А., КРАВЕЦ В. А. Анализ использования естественных источников холода для систем кондиционирования воздуха	137
ЗАЙЧЕНКО Л. Г., СИНЕЖУК И. Б., ЗАДОРЖНАЯ Е. П. Сравнение технологических расходов воды для системы централизованного водоснабжения Донецкой области	141
КРАВЕЦ В. А., ЛОЦМАН А. А. Расчёт и экспериментальная проверка снижения температуры металла в результате подачи газообразного азота при наполнении ковша расплавом чугуна	146
НЕЗДОЙМИНОВ В. И. Кинетические модели одноилловых биологических систем с окислением углерода, нитрификации и денитрификации	150
НАЗАРЕНКО А. Н. Разработка концепции управления надёжностью систем производственного водоснабжения	155
ПЕТРАШ В. Д., БАСИСТ Д. В. Современные системы водяного отопления многоэтажных жилых зданий	164

CONTENTS

TRYAKINA ALYENA. The study of water quality channel Seversky Donetsk – Donbas	3
SATIN IGOR. Sanitary-hygienic evaluation of compost biodistroy fraction of municipal solid waste and sewage sludge	9
TKACHENKO TATIANA, KHAZIPOVA VERA, SAVENKOVA SVETLANA. Ecological state lands Makeyevka for the years 2008-2011	15
SCHERNISCHEV VALENTIN, ZYATINA VITALY. Technology of work of sludge removal in technology of deep mineralization of sediment	21
CHEBOTARYOVA OLGA, SERBIN VLADIMIR, KOLOSOVA NELLY. Temperature range fermented mass loading in a fresh portion of waste digester	26
SALIEV ENVER. Description of the factors determining reparability water and wastewater systems	30
SAVICH DARYA. Cleaning and heatutilization of flue-gas refractory plant of Chasovjar	36
BALYNCHENKO OKSANA, NEZDOYMYNOV VICTOR. Modern state of water resources of Makeevka	41
OLEKSIUK ANATOLIY, SHITIKOVA IRINA. Theoretical Scientific of heat and mass exchanging processes running in multicircuit heat exchanging units of a coiled type	47
KVARTENKO ALEXANDER. Technology conditioning aggressive groundwater low base reserve containing ammonia and organic complexes of iron	52
VYBORNOV DMITRY, MONAKH SVETLANA. Scientific of thermodynamic cycle of works of the vapor compression heat pump which uses heat mine water	60
DOLGOV NYKOLAY. The study of hydraulic and thermal conditions of three-loop heat exchanger coil type	68
ZHIBOEDOV ALEXANDR. Filtering and regeneration options of synthetic tissue materials for their work in systems sewage treatment plants	73
MARKIN VYACHESLAV. Possibilities of increasing of efficiency of the biological wastewater treatment	79
NAYMANOVA ASİYAT. Problematic issues of drinking water Donetsk region	85
ANTONENKO SVETLANA. Theoretical preconditions of efficiency of electrochemical water treatment	89
KICHATOV VALENTIN, UDOVICHENKO ZLATA, TOLSTYKH ANDREI. Development schemes channel devices supply air under the window sill	94
MONAH SVETLANA, VYBORNOV DMITRY, SHACKOV ARTEM. Problems of warmth source choice for the autonomous heat system	99
CHUDANOVA ELIZAVETA, KHAZIPOVA VERA. Reducing waste in the direction of getting wood plastic	105
PASHKOV VALERY, ANTONENKO SVETLANA. The energy efficiency of heating systems with manual and automatic balancing	110
DMITROCHENKOVA ELLA. Analysis of economic efficiency of cogeneration plant on the basis of an internal combustion engine and for solid fuel boiler	115
VYSOTSKY SERGEY, KONDRYKINSKAYA ANNA. Natural gas economy and pollutant emission by water heating	120
NAZAROVA VALERIYA. Definition of similarity criteria for modeling the emission of harmful substances from the surface of the electrolyte with organic additives	125
LESNOY VIACHESLAV, NEZDOYMINOV VIKTOR, DMITROV PAVLO. Basic parameters of influence of pneumoexplosion on the filter and around-filter zones of a water wells	130
MAKSIMOVA NATALYA, KRAVETS VASILY. Analysis of the use of natural sources of cold for air conditioning systems	137

ZAICHENKO LYUDMILA, SYNEZHUK INNA, ZADOROZHNYAYA YELENA. Comparison of technological consumption of water for centralized water supply systems of Donetsk region	141
KRAVETS VASILY, LOTSMAN ANNA. Calculation and experimental verification of reducing the metal temperature by supplying gaseous nitrogen during the filling bucket molten iron	146
NEZDOYMINOV VIKTOR. Kinetic models of biological systems with the oxidation of carbon, nitrification and denitrification	150
NAZARENKO OLEXIY. Development of the concept of reliability management systems of industrial water supply	155
PETRASH VITALY, BASIST DMITRY. The modern system of the water heating of multi-story buildings	164