

**ВІСНИК**  
ДОНБАСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВництва і АРХІТЕКТУРИ



**Випуск 2010-6(86)**

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ  
ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

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 2010-6(86)**

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА  
ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2010

## **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 25.10.2010

### **Редакційна колегія:**

Горохов Є. В., д.т.н., професор (головний редактор);  
Мущанов В. П., д.т.н., професор (відповідальний редактор випуску);  
Насонкіна Н. Г., д.т.н., професор (головний редактор випуску);  
Найманов А. Я., д.т.н., професор;  
Сердюк О. І., д.х.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;  
Лук'янов О. В., к.т.н., доцент;  
Удовиченко З. В., к.т.н., доцент (відповідальний секретар випуску).

Коректори М. А. Мовчан, Л. І. Чернишова, О. М. Лебедєв  
Програмне забезпечення С. В. Гавенко  
Комп'ютерне верстання Э. А. Гринько

Підписано до друку 29.11.2010 Формат 60x84 1/8. Папір багатофункціональний офісний.  
Друк різографічний. Умов. друк. арк. 25.75 Тираж 300 прим. Заказ 314-10

### **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](mailto:vestnik@donnasa.edu.ua),  
[http://donna.edu.ua/ru/publishing\\_house/vestnik](http://donna.edu.ua/ru/publishing_house/vestnik)

Постановою Президії ВАК України від 09.06.1999 р. № 1—05/7 журнал внесено до переліку наукових фахових видань із технічних наук

Надруковано у поліграфічному центрі ДонНАБА  
86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

© Донбаська національна академія  
будівництва і архітектури, 2010

УДК 628.168, 628.161.2, 628.164

**О. И. БАЛИНЧЕНКО**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ УДАЛЕНИЯ ИЗ ВОДЫ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЖЕЛЕЗА**

В работе исследованы методы удаления из подземной воды больших концентраций железа и снижения высокой жесткости. На основании лабораторных исследований проб воды выбран метод продленной аэрации, усовершенствованный применением ершовой волокнистой загрузки. Обнаружено заметное усиление процесса окисления всех форм железа, а также снижения жесткости и щелочности воды. Определены тенденции происходящих химических процессов, даны расчетные зависимости и составлена примерная технологическая схема очистки воды от интересующих ингредиентов. Подсчитаны экономические показатели этой схемы.

**обезжелезивание, окисное и закисное железо, продленная аэрация, волокнистая ершовая загрузка**

**Формулировка проблемы.** Водоснабжение многих сельских населенных пунктов Донецкой области, как и многих сел в Украине, проводится из подземных источников, при этом во многих случаях вода не удовлетворяет установленным нормам относительно содержания в ней железа, марганца и растворенных газов. Присутствие железа в воде делает ее непригодной для питья и использования в бытовых и производственных целях. Значительная часть сельских населенных пунктов и небольших промышленных предприятий, отнесенных к ним, имеют централизованные системы водоснабжения с наличием водозаборных скважин, пневматических или насосных установок и водонапорных башен.

В настоящее время в отмеченных населенных пунктах остро встал вопрос подготовки воды, то есть, при необходимости, нужно удалять избыточное железо, сероводород, свободную углекислоту и другие примеси. Такое очистное сооружение малой производительности должно быть компактным, достаточно дешевым и простым в эксплуатации.

Для отмеченных условий одним из наиболее перспективных сооружений водоподготовки являются установки аэрационного типа с волокнистой загрузкой для удаления из воды избыточного железа, на которых нет необходимости использовать химические реагенты, усложняющие процесс общей очистки.

Для исследования была взята вода из типичной водозаборной скважины, снабжающей село на севере Донецкой области. Ионный состав этой воды характерен для водопроводных скважин этой части поселений. Показатели физико-химического состава воды приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, вода не соответствует питьевому качеству сразу по нескольким показателям, а именно  $\text{Ж}_\text{o}$  (общей жесткости) — в два раза, мутности — в 15 раз,  $\text{Fe}_\text{общ}$  (общему железу) — в 50 (!) раз, по  $\text{Mn}^{2+}$  (марганцу) — в 1,8 раз. Поэтому можно сделать вывод, что первоочередная задача — обезжелезивание данной воды. Расход ее составляет около  $10 \text{ m}^3/\text{сут}$ . Вода остальных скважин близка по составу и производительности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Железо в подземных водах обычно находится в виде бикарбоната закисного железа [5]. В случаях подпитки водоносного горизонта водами реки или болот железо в подземных водах может находиться в виде комплексных органических соединений. При значениях  $\text{pH} > 4,5$  двухвалентное железо окисляется до трехвалентного и выпадает в осадок в виде гидроокиси, при этом полнота окисления повышается с увеличением  $\text{pH}$ . В восстановительной среде при наличии в воде карбонатов, т. е. при  $\text{pH} > 8,4$  из воды может выпадать карбонат железа. При контакте с воздухом вода обогащается кислородом и окислительный потенциал системы повышается. Если при этом в результате удаления части углекислоты  $\text{pH}$  воды возрастает до величины, при

**Таблица 1** – Показатели физико-химического состава воды из скважины

Наименование иона или другого показателя	Единица измерения	Количество	Норма по ГОСТу 2874–84[3]
Ж <sub>о</sub>	мг-экв/л	14	7
pH	–	7,16	6–9
Цветность	град.	20	20
Мутность	мг/л	23,6	1,5
Сухой остаток	мг/л	791	1000
Cl <sup>-</sup>	мг/л	120	350
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	171,3	500
Fe <sub>общ</sub>	мг/л	15	0,3
Cu <sup>2+</sup>	мг/л	0,3	1
Mn <sup>2+</sup>	мг/л	0,18	0,1
Al <sup>3+</sup>	мг/л	0,09	0,5

которой при данном окислительном потенциале выпадает гидроокись железа, начинается процесс обезжелезивания воды. При содержании в воде бикарбонатных ионов процессы окисления двухвалентного железа в трехвалентное и гидролиза могут быть представлены следующим образом:



В зависимости от условий (величина pH, наличие окислителей и восстановителей, их концентрация и т. п.) окисление может предшествовать гидролизу, идти параллельно с ним или окислению могут подвергаться продукты гидролиза двухвалентного железа. Независимо от последовательности процессов окисления и гидролиза, их конечным результатом является образование хлопьевидной взвеси гидрата окиси железа.

Если в воде содержится много железа, то для ускорения процесса окисления и гидролиза железа приходится удалять из воды CO<sub>2</sub> аэрацией или введением в воду извести. Из исходной воды, содержащей небольшое количество железа (до 10 мг/л) и имеющей pH воды выше 6,8, углекислоту можно не удалять, а обезжелезивать воду можно методом упрощенной аэрации с задержанием гидроокиси железа непосредственно на фильтрах.

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

Окисление Fe<sup>2+</sup> в Fe<sup>3+</sup> при обезжелезивании воды можно производить вместо кислорода воздуха другими окислителями — хлором, перманганатом калия и т. п. На окисление 1 мг железа расходуется 0,64 мг Cl<sub>2</sub>, щелочность воды при этом снижается на 0,018 мг-экв/л на каждый мг/л удаленного из воды железа.

В зависимости от содержания железа в исходной воде, величины pH и щелочности воды возможны различные схемы обезжелезивания воды [1, 7]. Принципиальная схема установки для обезжелезивания подземных вод состоит из устройств для введения в воду окислителя (кислорода воздуха, хлора или KMnO<sub>4</sub>), контактного резервуара или контактного фильтра и фильтров для удаления из воды осадка гидроокиси железа. Чем больше железа следует удалить, тем более дорогой и громоздкой, сложной в эксплуатации является технологическая установка.

Литературные источники сходятся во мнении, что упрощенная аэрация без дополнительной интенсификации способна окислить не более 5 мг/л ионов Fe<sup>2+</sup> в Fe<sup>3+</sup>.

Эффективным и доступным способом интенсификации процесса окисления является использование волокнистой загрузки, способной создать большую площадь прикрепления воздушных пузырьков-окислителей [1, 2].

Ця загрузка представляє пушисті ерши диаметром близько 50 мм, скручені зі капронової ниті. Види промислових споруд з використанням описаної волокнистої загрузки та рекомендації їх використання дані на рис. 1. В описаніх спорудах волокниста загрузка виконує роль адсорбента кислорода. Для споруд обезжелезування, що працюють на очистку питної води, ерши загрузки постачаються з волокна їжевого якості. Пористість ершової волокнистої загрузки – не менше 98 % при площині адгезії до 10000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> занимаемого об'єму споруди.

Було рішено провести лабораторні та промислові дослідження для обезжелезування води з великою концентрацією желеza з використанням продленої аерации на пористій волокнистий ершовий загрузку. Успішні дослідження щодо проблеми використання цієї загрузки проводилися в основному для сточних вод.

**Цели.** Цілью цієї роботи є усунення та підвищення технології та засобів обезжелезування підземних вод на установках з волокнистою загрузкою з використанням інтенсивної аерации, які можуть використовуватися з спорудами водопостачання сільських населених пунктів.

**Основний матеріал.** Проби води з розглядуваної водозаборної сважини були отримані в дві герметичні пляшки по 10 л та доставлені впродовж днів у лабораторію. При відкритті пляшок вода мала коричневий колір та мутноту, що говорить про розвиваючийся процес самопроизвольного окислення та умінчення. Були здійснені аналізи цієї води в початковому стані на місткість іонів  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  та  $Fe_{\text{общ}}$ , а також загальну твердість ( $Ж$ ), загальну щелочність ( $Щ$ ) та pH.

Лабораторна установка зображена на рис. 1. На ній проводилися дослідження з аерации цієї води в 5-літрових ємностях: впродовж 3 днів без загрузки та впродовж 1 дня з ершовою волокнистою загрузкою.

Аналізи на дослідувані показателі води проводилися з інтервалом в кілька годин.

Результати представлені на рис. 2.



Рисунок 1 – Лабораторна установка по аерации води з ершовою волокнистою загрузкою.

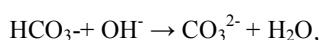


Рисунок 2 – Лабораторні дослідження обезжелезування з аерации.

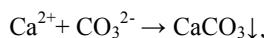
При аэрации воды без загрузки общее железо снизилось 8,1 до 3,4 мг/л, т. е. на 58 %, но осталось высоким, намного больше нормы (0,3 мг/л). Дополнительные анализы показали, что двухвалентное железо (закисное) снизилось от 3,0 до 1,2 мг/л (53 %), а трехвалентное железо (окисное) – от 4,7 до 2,2 мг/л (42 %). Общая жесткость ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) снизилась от 8,1 до 5,3 мг-экв/л (35 %) и достигла нормы (<7), а общая щелочность ( $\text{HCO}_3^-$ ) от 4,2 до 2,7 мг-экв/л (36 %). Водородный показатель pH за трое суток возрос незначительно – от 8,00 до 8,05.

При аэрации с ершовой загрузкой общее железо снизилось от 7,50 до 0,28 мг/л (96 %) и достигло нормы (<0,3). Дополнительные анализы показали, что при эти процессах закисное железо снизилось от 2,30 до 0,06 мг/л (97 %), окисное железо – от 5,20 до 0,22 мг/л (96 %), общая жесткость – от 8,1 до 6,8 мг-экв/л (16 %) и достигла нормы (<7), а общая щелочность снизилась от 5,9 до 4,6 мг-экв/л (22 %), pH возрос незначительно – от 8,1 до 8,4.

Можно сделать общий вывод, что применение метода упрощенной аэрации воды с ершовой волокнистой загрузкой значительно ускоряет окисление двухвалентного закисного железа в трехвалентное окисное и выводит все виды железа в осадок. Видимо, образуется осадок трехвалентного гидрооксида, а выделяющийся газ  $\text{CO}_2$  уносится воздухом, не успевая соединиться с карбонатом кальция и понизить pH. Часть ионов  $\text{OH}^-$  соединяется с бикарбонатными ионами  $\text{HCO}_3^-$  по реакции:



и получается осадок карбоната кальция:



что снижает жесткость и щелочность воды, как и происходит во всех опытах аэрации, только более интенсивно – с ершовой волокнистой загрузкой.

Бикарбонат железа в исходной воде содержаться не должен, ввиду наличия щелочной среды (pH = 8), а в воде, прошедшей аэрацию – тем более (при еще большем pH = 8,1 и 8,4).

Были проведены исследования обезжелезивания при двухчасовой аэрации воды с загрузкой. С помощью математической обработки по методу наименьших квадратов (с помощью программы «Courve expert») получены формулы экспоненциальных зависимостей, по которым можно теоретически рассчитать сроки завершения происходящих реакций обезжелезивания под действием интенсивного окисления кислородом.

В течение двух часов аэрации 5-литровой емкости с водой с волокнистой ершовой загрузкой исследуемые показатели качества воды: pH, общая щелочность и общая жесткость – не изменились: pH = 8, Ж<sub>о</sub> = 5,3 мг-экв/л, Щ<sub>о</sub> = 2,7 мг-экв/л. Это значит, что происходят только процессы окисления железа и образования трехвалентного гидрооксида. Затем наряду с этим процессом, происходит и параллельный процесс снижения щелочности и жесткости воды.

Рассчитаем более точно дозу необходимого кислорода. По уравнению (1.3 [5]) на окисление 1 мг  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  расходуется 0,143 мг кислорода. При средней температуре подземной воды около 4 °C растворимость кислорода по формуле (1.6 [5]) определится как:

$$C = \frac{468}{31,6 + t} = \frac{468}{31,6 + 4} = 13,1 \text{ мг/л.}$$

Этого кислорода будет достаточным в 91 раз. Кислорода будет даже больше, поскольку формула рассчитывает растворимость кислорода в воде при атмосферном давлении, а аэрация предусматривает подачу пузырьков под некоторым избытком давления. То есть, хватит кислорода и для отдувки углекислого газа, чтобы понизить жесткость воды, хоть это процесс более длительный.

Весовое содержание кислорода в воздухе прямо пропорционально атмосферному давлению за вычетом парциального давления водяного пара и обратно пропорционально температуре воздуха (т. к. с ростом температуры падает плотность воздуха):

$$\text{O}_2(\text{г/м}^3) = 83 \cdot (\text{P} - \text{e})/\text{T},$$

где Р и е – в гПа, Т – в °К.

Для –30 °C и 1050 гПа получаем 358 г/м<sup>3</sup>, для 0 °C и 1000 гПа 304 г/м<sup>3</sup>, для +30 °C, 990 гПа, влажности 10 % (e = 4,2 гПа) 270 г/м<sup>3</sup>, для +30 °C, 990 гПа, влажности 60 % (e = 25,2 гПа) 264 г/м<sup>3</sup> [15].

Однако можно взять усредненное значение содержания кислорода в воздухе – 21 %. Из справочных таблиц по физике удельный вес воздуха при температуре 20 °C и давлении 760 мм рт. ст. равен 1,205 кг/м<sup>3</sup>.

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

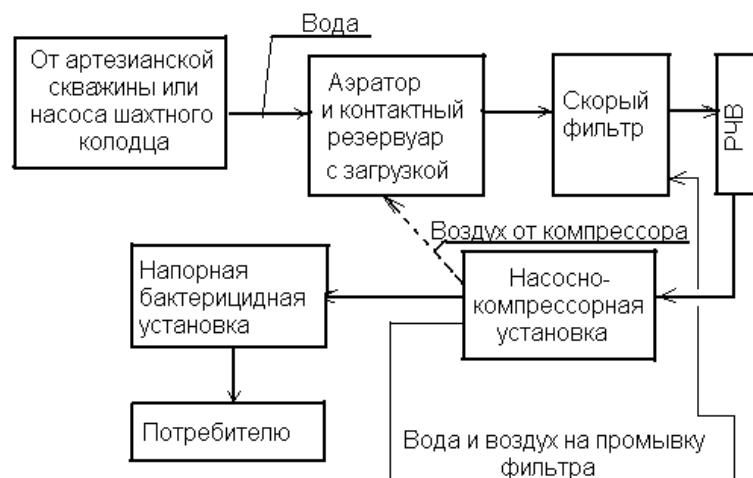
Производительность компрессора-аэратора для аэрации воды 5 м<sup>3</sup>/ч должна быть  $5 \cdot 0,052 = 0,26$  м<sup>3</sup>/ч = 4,33 л/мин.

По полученной формуле  $Y = 3,82e^{-0,23x}$  рассчитаем время окисления общего железа до остаточной концентрации, разрешенной в питьевой воде, где Y – концентрация общего железа, т. е. 0,3 мг/л; x – время аэрации, часов.  $0,3 = 3,82e^{-0,23x}$ , откуда  $x = 2,23$  часа. На это время нужно рассчитать емкость резервуара с аэрируемой загрузкой. Получается  $2,23 \cdot 5 = 11,15$  м<sup>3</sup> рабочей емкости. С учетом неполного заполнения увеличиваем на 30 %:  $W = 14,5$  м<sup>3</sup>. В рабочий объем потребуется разместить  $11,15 \cdot 400 = 49729$  м ершой волокна.

После анализа информации об особенностях водоснабжения рассматриваемого населенного пункта, с учетом результатов исследований, была предложена следующая промышленная схема водоснабжения с обезжелезиванием воды.

При разных вариантах схем водоснабжения сел, если давление в артезианской скважине достаточно высокое, то вихревой насос не нужен. Если в системе будет водонапорная башня – не нужна компрессорная установка, вместо компрессорной аэрации можно применить эжектор. Бактерицидная установка необходима для исключения возможности внесения загрязнений в питьевую воду. Расчетная производительность системы, предложенной в задании к работе – 5 м<sup>3</sup>/ч.

При расчете типовых сооружений на указанную производительность по укрупненным показателям была получена сумма годовых эксплуатационных затрат – 86 262 грн. и себестоимость очистки 1 м<sup>3</sup> воды составила 1,96 грн. – без учета стоимости волокнистой ершовой загрузки в аэраторе для интенсификации процесса упрощенной аэрации. Стоимость этой загрузки будет определена способом ее приобретения и монтажа.



**Рисунок 3** – Предполагаемая схема водоснабжения с обезжелезиванием методом упрощенной аэрации на ершовой загрузке в безнапорном контактном резервуаре.

### Выводы.

1. Вода из подземных источников сельских населенных пунктов содержит большое количество соединений железа, содержание которых достигает 15 мг/л, причем большее количество приходится на двухвалентное железо. К тому же велика, до 14 мг-экв/л, общая жесткость воды. Эти показатели превышают требуемые по ГОСТУ 2874–84 «Вода питьевая»: соответственно 0,3 мг/л по Fe<sub>обш</sub> и 7 мг-экв/л по (Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>). Кроме того, почти вдвое завышено против допустимого содержание марганца. (0,18 против 0,10 мг/л по Mn<sup>2+</sup>). Все это делает воду из артезианских скважин и шахтных колодцев других населенных пунктов мало пригодной не только для питьевых, а и технических целей. Она имеет ржавый цвет и железистый привкус. Потребители вынуждены употреблять дорогую бутылированную и привозную воду.

2. Обзор литературных источников, посвященный проблеме обезжелезивания, при которой удавался бы и марганец, а также умягчалась вода, привел к методу упрощенной аэрации, усиленному использованием ершовой волокнистой загрузки. Действие волокнистой загрузки должно было обеспечить обширный контакт воды с кислородом воздуха, сконцентрированного в пузырьках, прилипших к волокну ершей.

3. Лабораторные исследования доставленных проб воды из артезианской скважины на модельной установке аэратора с волокнистой загрузкой подтвердили предположения об эффективности использования принятой технологии и дали расчетные параметры для сооружений, уместных для исследуемых концентраций удалаемых химических агентов — железа и кальция.

4. Была предложена конкретная промышленная схема удаления железа (попутно и жесткости) из воды на основе уже существующих сооружений водопровода из подобных скважин.

5. На основании принятой схемы обезжелезивания воды был сделан расчет технико-экономических показателей конкретного проектного решения обезжелезивания и умягчения воды по укрупненным показателям проектных решений. Себестоимость очистки 1 м<sup>3</sup> воды составила около 2 гривен без учета стоимости ершовой волокнистой загрузки, цену которой определит способ ее получения и монтажа в аэрационном бассейне.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы очистки воды : учебн. пособ. / Куликов Н. И., Найманов А. Я., Омельченко Н. П., Чернышев В. Н. — Донецк : «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. — С. 97–98, 274–290.
2. Водоснабжение : учебн. пособ. для вузов / [Найманов А. Я., Никиша С. Б., Насонкина Н. Г. и др.] — Донецк : «Норд-Пресс», 2004. — С. 420–426, 428–457.
3. Источники централизованного питьевого водоснабжения. Гигиенические и экологические требования к качеству воды и правила выбора : ДСТУ 4808:2007. — [Чинний від 2009–01–01]. — К. : Держспоживстандарт України 2007. — 40 с. (Національний стандарт України).
4. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : СНиП 2.04.02 84. - [Действует с 1985–01–01 ]. — М. : Стройиздат, 1985. — 136 с. (Строительные нормы и правила).
5. Клячко В. А. Очистка природных вод / Клячко В. А., Апельцин А. С. — М. : Стройиздат, 1971. — С. 415–423.
6. Вода питьевая. Методы анализа (ISBN 5–7050–0420–6). — М. : Изд-во стандартов, 1994. — 226 с. (Государственный стандарт).
7. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий : [справ. проектир. / под ред. И. А. Назарова]. — М. : Стройиздат, 1977. — 288 с.
8. Технические записки по проблемам воды. Дегремон : [в 2-х т. / пер. с англ. К. Барак. Ж. Бебен, Ж. Бернар и др.] — М. : Стройиздат. — 1983. — 1064 с.
9. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання : ДСанПін. — [Чинний від 1996–12–23]. — К. : МОЗ України. — 1996. — 21 с. (Державні правила і санітарні норми України).
10. Плотников Н. А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Плотников Н. А., Алексеева В.С. — М. : Стройиздат, 1990. — 33 с.
11. Николадзе Г. И. Водоснабжение / Николадзе Г. И., Сомов М. А. — М. : Стройиздат, 1995. — 338 с.
12. Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод / Николадзе Г. И. — М. : Высшая школа, 1987. — 479 с.
13. Кульский Л. А. Технология очистки природных вод / Кульский Л. А., Строкач П. П. — К. : Вища школа, 1986. — 352 с.
14. Кожинов В. Ф. Очистка природной и технической воды / Кожинов В. Ф. — М. : Стройиздат, 1971. — 304 с.
15. Климат и здоровье человека : труды междунар. симпозиума ВМО/ВОЗ/ЮНЕП СССР. — Ленинград, 22–26 сентября 1986. — т. 2. — Л. : Гидрометеоиздат, 1988. — 34 с.
16. Conneley E. I. Removal of iron and manganese / Conneley E. I. — JAWWA, 1988. — № 5. — Р. 50–55.
17. Hem J. D. Stability field diagrams as aides in iron chemistry studies / Hem J. D. — JWWA, 1981. — № 2. — Р. 211–228.
18. Heertjes P. M. The removal of iron from groundwater / Heertjes P. M., Lerk C. F. — Aqua, 1973. — № 2.

Получено 2.09.2010

О. Й. БАЛІНЧЕНКО

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ВИСОКИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗА-  
ЛІЗА

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У роботі досліджені методи видалення з підземної води великих концентрацій заліза і зниження високої жорсткості. На підставі лабораторних досліджень проб води вибраний метод продовженої аерації, вдосконалений застосуванням йоржистого волоконного завантаження. Знайдено помітне посилення процесу окислення всіх форм заліза, а також зниження жорсткості і лужності води. Визначено тенденції хімічних процесів, що відбуваються, дано розрахункові залежності і складено зразкову технологічну схему очищення води від інгредієнтів, що цікавлять. Підраховані економічні показники цієї схеми.

**знезалізення, окисне і закисне залізо, продовжена аерація, волоконне йоржисте завантаження**

O. I. BALYNCHENKO

RAISE OF HIGH-RATE IRON REMOVAL FROM WATER

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper has introduced methods of high-rate iron removal from underground water and minimization of its hardness. By means of the laboratory research of the water samples, the prolonged aeration method improved with the ruff fibred load has been selected. The appreciable oxidation process strengthening of all forms of iron and decrease of water hardness and alkalinity have been revealed. The trends for the chemical processes have been set, calculation interrelationships have been given and an approximate technological waste water scheme of interested components has been worked out. The economic indicators of the scheme have been calculated.

**deironing, iron oxide, iron protoxide, prolonged aeration, and fibred ruff load**

**Балінченко Оксана Йосипівна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Водопостачання, водовідведення і охорона водних ресурсів» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: корозія і захист водопроводів, захист трубопроводів від накипу.

**Балінченко Оксана Йосифовна** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: коррозия и защита водопроводов, защита трубопроводов от накипи.

**Balynchenko Oksana Yosifovna** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Water Supply, Sewage and Storm Water Disposal, and Water Conservation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: corrosion and pipeline prevention, protection of pipelines from scale.

УДК 628.511

**С. М. ОРЛОВ, Э. И. ДМИТРОЧЕНКОВА, А. Я. ОРЛОВА**  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ЦИКЛОНА КАК ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ ПЫЛИ

Проведен анализ работы циклона как первой ступени очистки газа от пыли, на основании которого было установлено, что при существующих схемах очистки газа от пыли аппараты тонкой очистки рассчитываются на весь объем газа. Полностью не исследован вопрос концентрации пыли в выхлопной трубе. Обосновано, что проведение данных исследований позволит усовершенствовать циклон, который используется как первая ступень очистки. Это позволит существенно уменьшить объемы газа, направляемые на аппараты тонкой очистки и получить большой экономический эффект.

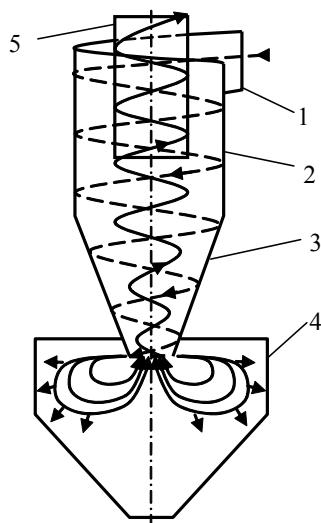
**циклон, выхлопная труба, давление, скорость**

Воздушные выбросы промышленных предприятий наносят вред окружающей природной среде, загрязняют атмосферу промплощадок и жилых районов, что влияет на здоровье людей, увеличивает потребность в проведении различного рода профилактических и медицинских мероприятий, приводит к дополнительным экономическим потерям.

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

Циклоны являются наиболее характерными представителями сухих инерционных пылеуловителей, которые, как правило, имеют простую конструкцию, обладают большой пропускной способностью и несложны в эксплуатации. Ввиду этих преимуществ циклоны получили широкое распространение.

Общая схема циклона представлена на рис. 1 [1]. Запыленный воздух вводится тангенциально в верхнюю часть циклона, представляющую собой закручивающий аппарат. Сформировавшийся здесь



**Рисунок 1** – Схема циклона: 1 – входной патрубок; 2 – цилиндрическая часть циклона; 3 – коническая часть циклона; 4 – пылеосадительный бункер; 5 – выхлопная труба.

вращающийся поток опускается по кольцевому пространству, образуемому цилиндрической частью циклона и выхлопной трубой, в его коническую часть, а затем, продолжая вращаться, выходит из циклона через выхлопную трубу. Схематическое изображение токов на рисунке для наглядности несколько упрощено. В действительности на основное течение накладываются специфические циркуляционные течения.

Аэродинамические силы искривляют траектории частиц. Те из частиц, масса которых достаточно велика, успевают достигнуть стенок циклона, т. е. отделяются от потока. Под влиянием силы тяжести и увлекающего действия осевого течения, отделившиеся частицы опускаются и через пылевыпускное отверстие проходят в бункер, где оседают.

В циклонах наиболее совершенных конструкций можно достаточно полно улавливать частицы размером от 5 мкм и более, однако наблюдается проскок достаточно крупных частиц, поэтому зачастую циклоны используются в качестве первой ступени очистки перед аппаратами тонкого пылеулавливания, но применяются и в качестве единственной ступени очистки.

Существует множество схем обеспыливания газов в зависимости от источника пылеобразования, где циклоны применяются в качестве первой ступени очистки.

Из приведенных в литературе [2–5] схем видно, что аппараты второй ступени рассчитываются на весь объем газа, подлежащего очистке. Аппараты второй ступени (рукавные фильтры, электрофильтры и др.) требуют значительно больших капитальных и эксплуатационных затрат, поэтому вопрос совершенствования циклонов, направленный на уменьшение объемов газов, подаваемых на аппараты второй ступени очистки, является актуальным.

Теории циклонной сепарации посвящено множество работ. До последнего времени при теоретическом рассмотрении такой сепарации обычно принимали, что тангенциальная скорость частицы совпадает со скоростью среды, и рассматривали радиальную, относительную скорость, возникающую под действием центробежной силы.

В литературе приводятся формулы для определения минимального диаметра, т. е. размера наименьших частиц, полностью сепарирующихся из криволинейного потока в циклоне, в зависимости от скорости потока воздуха и геометрии циклонов. Формулы различаются по написанию, но все выводятся из одного и того же условия, а именно равенства центробежной силы силе сопротивления среды [5]:

$$mw^2/R = 3\pi w_p d \mu,$$

где  $m$  — масса частицы, кг;  $w$  — скорость газового потока, принимаемая равной скорости газов во входном патрубке и скорости частиц, находящихся в газах, м/с;  $R$  — расстояние от центра вращения газового потока (оси циклона) до частицы, м;  $w_p$  — скорость движения частицы пыли в радиальном направлении к стенке циклона, м/с;  $d$  — диаметр пылинки, м;  $\mu$  — вязкость газовой среды,  $N\cdot\text{с}/\text{м}^2$ .

Оказалось, что для расчета циклонов эти формулы неприменимы. Все они устанавливают чрезмерно высокую эффективность — полное отделение сравнительно мелких частиц. В действительности полное осаждение отдельных фракций не достигается и зачастую происходит проскок очень крупных частиц. Наблюдается лишь повышение эффективности по мере увеличения размера частиц.

Несоответствие теории экспериментам объясняется неполным учетом составляющих силы инерции, в особенности на начальном участке сепарации, а также влиянием возникающих циркуляционных течений.

На рис. 2 представлено изменение статического давления и тангенциальных составляющих скоростей, замеренное Тер-Линденом в нескольких поперечных сечениях циклона [6]. Оказалось, что в сечениях, не слишком удаленных от входного, близи стенок ( $R = R_2$ ) давление мало отличается от давления во входном патрубке (900 Па), а тангенциальная составляющая скорости примерно равна средней скорости входа в циклон (10,7 м/с). Ниже, в особенности в конической части, тангенциальные составляющие скоростей возрастают. Соответственно увеличивается скоростное давление и уменьшается статическое.

Во всех сечениях в периферийной части потока наблюдается увеличение тангенциальной составляющей скорости по радиусу по мере удаления от стенок циклона, причем форма кривой распределения скорости действительно близка к гиперболе. Средняя часть потока характеризуется постоянством угловой скорости. Давление падает по радиусу к центру циклона, достигая минимума на оси вращения.

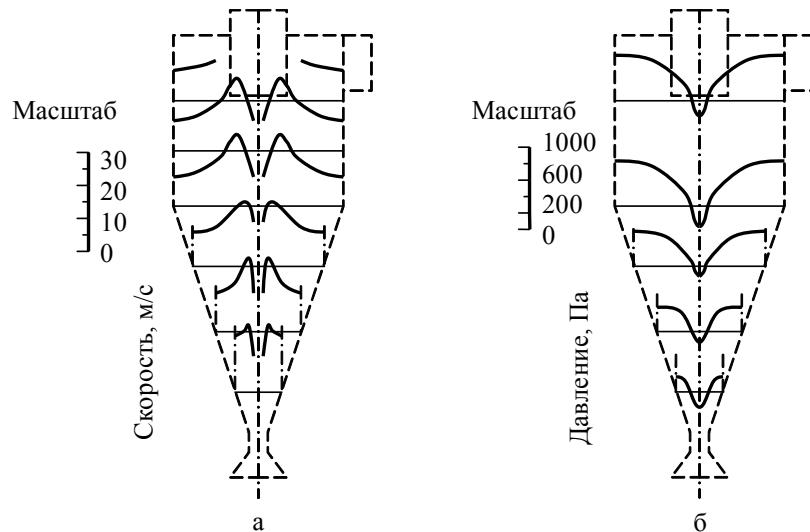


Рисунок 2 – Изменение тангенциальных составляющих скоростей (а) и статического давления (б) в поперечных сечениях циклона.

Наличие радиального градиента давления обуславливает возникновение в циклонах вторичных циркуляционных течений, влияющих на эффективность пылеулавливания. Для частиц воздуха, находящихся в плоскости, удаленной от днища циклона, градиент давления уравновешивается центробежной силой. Вблизи неподвижных поверхностей тангенциальная составляющая скорости воздуха вследствие трения уменьшается и, следовательно, уменьшается также центробежная сила. Так как радиальный градиент статического давления здесь такой же, как и на большом расстоянии от поверхностей, равновесие между силами статического давления и центробежной силой нарушается и возникает радиальное течение, направленное к оси вращения, т. е. радиальный или осевой сток. Из условия неразрывности этот сток в свою очередь вызывает осевое течение, направленное по внешней нормали к днищу, и подтекание воздуха вдоль образующих цилиндрической части циклона. Исследован случай, когда вращение жидкости происходит с постоянной угловой скоростью [6].

Оказалось, что максимальное значение радиальной составляющей скорости равно половине значения тангенциальной составляющей скорости в удалении от днища.

На рис. 3 показана схема циркуляции, возникающей в циклонном аппарате [6]. В верхней части аппарата вторичные токи сливаются с парным вихрем, образующимся при тангенциальном втекании струи в циклон. Образование парного вихря объясняется тем, что по мере удаления от оси вращения скорость газа уменьшается, вызывая возрастание давления. Повышение давления достигает наибольшей величины в слоях воздуха, прилегающих к внешней границе потока. Под влиянием этого давления воздух перетекает вдоль внешних границ в сторону низких давлений, образуя парный вихрь, который может быть назван вторичным, так как вызван основным вихревым течением в циклоне. Верхняя часть вторичного вихря циклона устремляется по кратчайшему пути к устью выхлопной трубы, а нижняя, распространяясь вдоль образующих циклона, формирует восходящий поток циклона, как это показано на рис. 3.

Вторичные токи оказывают большое влияние на эффективность циклонов. Верхняя ветвь вихря является кратчайшим путем для выноса пыли в выхлопную трубу. Для ослабления влияния этого течения увеличивают глубину погружения выхлопной трубы. Исследования показали, что с увеличением глубины ее погружения действительно наблюдается повышение эффективности, связанное, по-видимому, с уменьшением выноса вторичным течением пыли, не успевшей при меньшем погружении за короткое время формирования вращающегося потока перейти из слоев воздуха, опускающихся вдоль выхлопной трубы, в более удаленные слои. При дальнейшем погружении эффективность вновь падает.

Более детальные исследования показали, что для каждой схемы циклонов существует оптимальная глубина погружения выхлопной трубы. После превышения этой глубины эффективность начинает снижаться, что может быть объяснено увеличением радиальных составляющих скоростей. Ниже устья выхлопной трубы от основной массы, опускающегося вниз потока постепенно отделяются

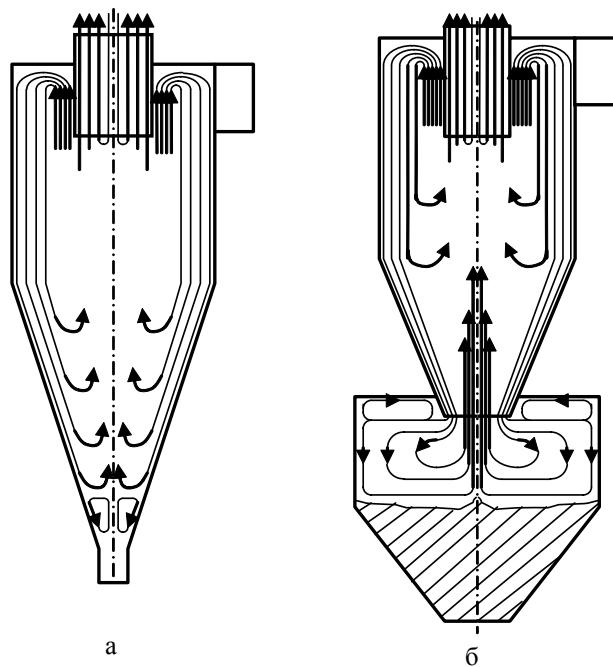


Рисунок 3 – Схема вторичних токів в циклоні: а – без бункера; б – з бункером.

внутренние слои и, в конце концов, весь объем воздуха переходит из нисходящего потока в восходящий. При благоприятных условиях эти слои очищены от пыли, концентрация которой в опускающемся потоке возрастает. При глубоком погружении выхлопной трубы высота участка, на котором происходит переток воздуха из нисходящего потока в восходящий, уменьшается, а скорости перетока возрастают.

Большое влияние на эффективность оказывает сток воздуха к центру циклонного течения, наблюдющийся по всей высоте циклона, особенно в конической части. Радиальные составляющие скорости препятствуют сепарационному движению частиц к периферии, определяя своей величиной крупность частиц, которые будут ими вынесены в выхлопную трубу циклона.

Увеличение высоты конической части, по-видимому, способствует большей равномерности скоростей стока. Большое влияние на эффективность циклонов оказывает радиальный сток в самом нижнем сечении циклона – на поверхности уже отложившейся пыли. Возникающее здесь донное течение размывает отложившуюся пыль и перемещает ее к оси подобно тому, как в смерчах или торнадо в центре вихря возникает большая подъемная сила, способная поднимать достаточно тяжелые предметы на значительную высоту, поэтому взмученная пыль подхватывается осевым потоком и выносится из циклона. Этот эффект в меньшей степени сказывается в циклоне с бункером, поскольку скорость радиального стока в бункере значительно меньше, и донное течение не размывает отложившуюся пыль, а из циклона выносится лишь та пыль, которая не осела в бункере. Поэтому циклоны снабжаются герметичными бункерами для сбора пыли. В аэродинамическом отношении функцией бункера является создание условий для затухания вращения опускающегося в него потока воздуха. В связи с этим бункер должен иметь достаточно большие размеры. Во избежание уменьшения объема нельзя допускать чрезмерное заполнение бункера пылью.

Отсюда можно сделать вывод, что все существующие теоретические и экспериментальные исследования посвящены анализу эффективности работы циклонов как индивидуальных аппаратов очистки газов от пыли. При установке циклонов в качестве первой (грубой) ступени очистки перед аппаратами тонкой очистки последние рассчитываются на весь объем очищаемых газов, что приводит к повышенным капитальным и эксплуатационным расходам.

Из проведенного анализа видно, что вопрос концентрации пыли в выхлопной трубе полностью не исследован.

Проведение данных исследований позволит усовершенствовать циклоны, которые используются в качестве первой ступени очистки, и тем самым уменьшить производительность аппаратов тонкой очистки в несколько раз, что даст большой экономический эффект.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пылеулавливание в металлургии / под ред. А. А. Гурвица. — М. : Металлургия, 1984. — 336 с. : ил.
2. Луговский С. И. Совершенствование систем промышленной вентиляции / Луговский С. И., Дымчук Г. К. — М. : Стройиздат, 1991. — 136 с. ил.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. — М. : Энергия, 1975. — 296 с. : ил.
4. Алиев Г.М. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок / Алиев Г.М. — М. : Металлургия, 1988. — 368 с. : ил.
5. Гордон Г. М. Пылеулавливание и очистка газов / Гордон Г. М., Пейсахов И. Л. — М. : Металлургия, 1968. — 499 с. : ил.
6. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха / Пирумов А. И. — М. : Стройиздат, 1981. — 296 с. : ил.

Получено 5.10.2010

С. М. ОРЛОВ, Е. И. ДМИТРОЧЕНКОВА, А. Я. ОРЛОВА  
АНАЛІЗ РОБОТИ ЦИКЛОНА ЯК ПЕРШОГО СТУПЕНЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ ВІД  
ПИЛУ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Проведено аналіз роботи циклона як першого ступеня очищення газу від пилу, на підставі якого було встановлено, що при існуючих схемах очищення газу від пилу апарати тонкого очищення розраховуються на весь обсяг газу. Повністю не досліджено питання концентрації пилу у вихлопній трубі. Обґрунтовано, що проведення даних досліджень дозволить удосконалити циклон, що використовується як перший ступінь очищення. Це дозволить істотно зменшити обсяги газу, що направляються на апарати тонкого очищення й одержати великий економічний ефект.

**циклон, вихлопна труба, тиск, швидкість**

S. M. ORLOV, E. I. DMITROCHENKOVA, A. YA. ORLOVA  
CYCLONE OPERATIONAL ANALYSIS AS THE FIRST STEP OF GAS CLEANING  
FROM DUST  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The cyclone operational analysis as the first step of gas cleaning from dust has been conducted in the paper. Nowadays, the fine gas cleaning devices of the existing designs count on the whole gas volume. The problem of dust concentration in an outlet pipe has not been researched completely. The pursuance of the research has been substantiated to make improvement of the cyclone using as the first cleaning step. The method will enable to substantial decrease of the gas volumes directed to the fine gas cleaning devices and be effectively utilized.

**cyclone, outlet pipe, speed, pressure**

**Орлов Станіслав Михайлович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електротехніка і автоматика» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: автоматизація процесів і апаратів систем теплогазопостачання і вентиляції.

**Дмитроченкова Елла Ігорівна** — асистент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проблеми застосування когенераціонних технологій для цілей теплопостачання.

**Орлова Алла Яківна** — старший викладач кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вентиляція і кондиціонування приміщень житлових і громадських будівель.

**Орлов Станіслав Михайлович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и автоматика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: автоматизация процессов и аппаратов систем теплогазоснабжения и вентиляции.

**Дмитроченкова Элла Игоревна** — ассистент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проблемы применения когенерационных технологий для целей теплоснабжения.

**Орлова Алла Яковлевна** — старший преподаватель кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вентиляция и кондиционирование помещений жилых и общественных зданий.

**Orlov Stanislav Mihaylovich** — a Ph. D. (Eng.), an Assistant Professor of the Electrical Engineer and Automatics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: industrial control of the processes and devices of the heating, gas supply and ventilation systems.

**Dmitrochenkova Ella Igorevna** — a teaching fellow of the Heat Engineering, Heating, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: cogeneration engineering application in heating.

**Orlova Alla Yakovlevna** — a senior lecturer of the Heat Engineering, Heating, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture . Research interests: ventilation and air-conditioning of residential and public buildings.

УДК 69.681.51

П. Е. УВАРОВ<sup>a</sup>, М. Е. ШПАРБЕР<sup>b</sup>, Е. П. УВАРОВ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля (г. Луганск),

<sup>b</sup>Главный институт «Академпромжилреконструкция» (г. Луганск)

## МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ИНФОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННО- СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Предлагается методический подход построения инфографической модели на базе концепции использования CALS-технологий и информационно-логического массива календарного планирования двухмерных и трехмерных план-графиков. Даётся набор систематизированных характеристик модуля, отмечается их специфика в условиях использования САПР и АРМов планирования и управления проектами.

проектная системология, концепция CALS, инфография, средства интеграции, цифровая модель, виртуальный проект-объект строительства (П-ОС), организационно-технологические циклы, графоаналитические модули план-графиков, систематизация уровней, форм и назначения модулей

### Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими проблемами.

Современные информационные технологии (ИТ) в автоматизированных системах организационно-технологического проектирования и управления в строительстве (СОТП) рассматриваются как инженерно-инновационный потенциал развития, предопределяя научно-технический прогресс и комплексную эффективность инвестиционно-инновационной и проектно-строительной деятельности (ИСД) в непрерывной информационной поддержки полного жизненного цикла создания, реализации и ликвидации производственной продукции – виртуального проекта-объекта строительства (П-ОС). Достаточно сказать, что в настоящее время ИТ охвачено в проектном деле более 90 % работ, подготовке инвестиционно-строительного производства (ИСП) и управлении проектами 60–75 % работ, финансово-экономических расчетах – свыше 70 % и т. п. [1, 3, 6, 15, 17].

Эффективность использования ИТ в строительной отрасли существенно повышается в случае применения активного проектирования на основе интегрированных информационно-графических технологий (ИИТ), охватывающих все организационно-технологические этапы и стадии жизненного цикла инвестиционно-строительного производства. Одна из них – это высокоэффективная компьютерная система – CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support – пер. с англ. «непрерывная информационно-графическая поддержка жизненного цикла» изделия, продукта или целого объекта).

На базе концепции CALS-технологий новый подход к интеграции программных средств, позволяет осуществить сквозную автоматизацию проектирования и управления строительством (П-ОС) и дальнейшими процессами жизненного цикла, используя модульный принцип функционально-структурной схемы построения системы организационно-технологического проектирования СОТП-ИСД, информационно-программного обеспечения САПР и АРМов, расширить при этом изменения и наращивание проектных возможностей информационного инжиниринга и научно-технического сопровождения [3, 7, 11, 12, 16, 17].

Новая концепция САПР и поддержки процесса организационно-технологического проектирования виртуального П-ОС формируется на информационно-логической унифицированной цифровой модели УЦМ П-ОС, которая структурируется определенным образом, позволяющим систематизировать все информационные потоки документирования – интегрированной СОТП ИСД [3, 5, 6, 12, 18].

При этом УЦМ П-ОС интерпретируется как основной системообразующий фактор – «виртуальный П-ОС» – модель соответствующая реальному заданию, но существующая только в памяти компьютера, как результат информационного взаимодействия составляющих подсистем СОТП ИСД [11, 15, 17].

Указанные функциональные особенности УЦМ П-ОС обуславливают необходимость исследования отдельных концептуально-методических аспектов-выработки модульного принципа формирования визуализации, т. е. модели инфографической структуры ИСП в задачах инвестиционно-строительного производства.

#### Эволюция развития и анализ последних исследований и публикаций.

Концепция и принципы создания единой межотраслевой информационной «системы автоматизации проектно-конструкторских работ и технологической подготовки строительного производства», которые включали создание в строительстве принципиально новых моделей проектирования П-ОС и деятельности проектировщиков, определяли прогноз развития проектирования и взаимодействия систем. Впервые они были представлены ЦНИПИАСС в 1973 году и отражены в принятых решениях Всесоюзной научной конференции [7, 14, 16].

В предложенной концепции автоматизированная система проектирования (АСП) и управления (АСУ) рассматривалась как единая (интегрированная) функциональная система, системообразующим результатом которой должен быть рассмотрен проект-объект строительства (П-ОС), построенный с заданными технико-экономическими характеристиками в процессе создания, реализации и эксплуатации.

Концепция объединения в одну функциональную систему ныне разрозненных трех систем проектирования изменяла принципиально структуру САПР и АСУС и предопределила постановку новых проблем на «стыках» проектирования объекта, его возведения и управления (рис. 1).

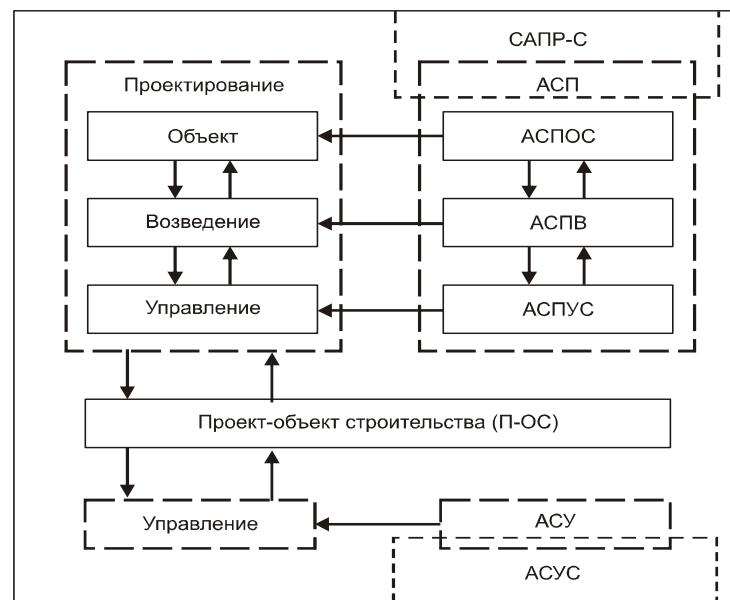


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированной системы проектирования (АСП).

Эти проблемы ранее находились в «ничейных зонах» и не попадали в достаточной мере в поле зрения проектной системологии, не позволяли комплексно оценить решения, учитывающие системный подход и вероятностный (организационно-экономический и организационно-технологический) характер строительного производства [12].

Результатом реализации программ по созданию АСП и др. явилось, в первую очередь, накопление значительного опыта разработки информационных систем управления технико-экономическими объектами. Вместе с тем первоначально поставленные глобальные цели этой идеи и программ не были достигнуты. Вот почему в последние годы возникло новое научное направление – информационные интегрированные технологии, которые потребовали формализации представления данных, в том числе языки программирования и системы управления, средства представления и обработки текстовой и графической информации, интегративные (диалоговые) модели и средства и др.

В компьютерно-информационных технологиях систем автоматизированного проектирования, управления, организации информационного пространства П-ОС модульность является важным принципом современного математического, архитектурно-строительного, информационно-программного обеспечения АСУС, САПРов и АРМов и средств поддержки процесса виртуального П-ОС программного комплекса.

Для решения выше изложенной проблемы потребовалась разработка различных информационно-графических систем САПР- и АРМов, интегрированной линии проектирования, ориентированных на основных участников ИСД, программы которых содержат базовые комплекты документов, необходимых для выполнения функций заказчика (инвестора), генподрядчика (версии НИИАСС, ПКТИпромстрой и др.) и других субъектов ИСД [6, 10].

Например, в линии проектирования версии ПКТИпромстрой основной программой разработки этапов проектной подготовки инвестиционно-строительного производства и управления в информационной поддержке ЖЦ П-ОС являются программы САПР КПЛАН и СТРОЙГЕНПЛАН, которые используются для подготовки календарных и строительных генеральных планов при решении основной задачи в составе ПОС и ППР, с использованием различных форм моделей, и при управлении П-ОС с применением расчетных инженерных АРМов для участников ИСД (рис. 2).

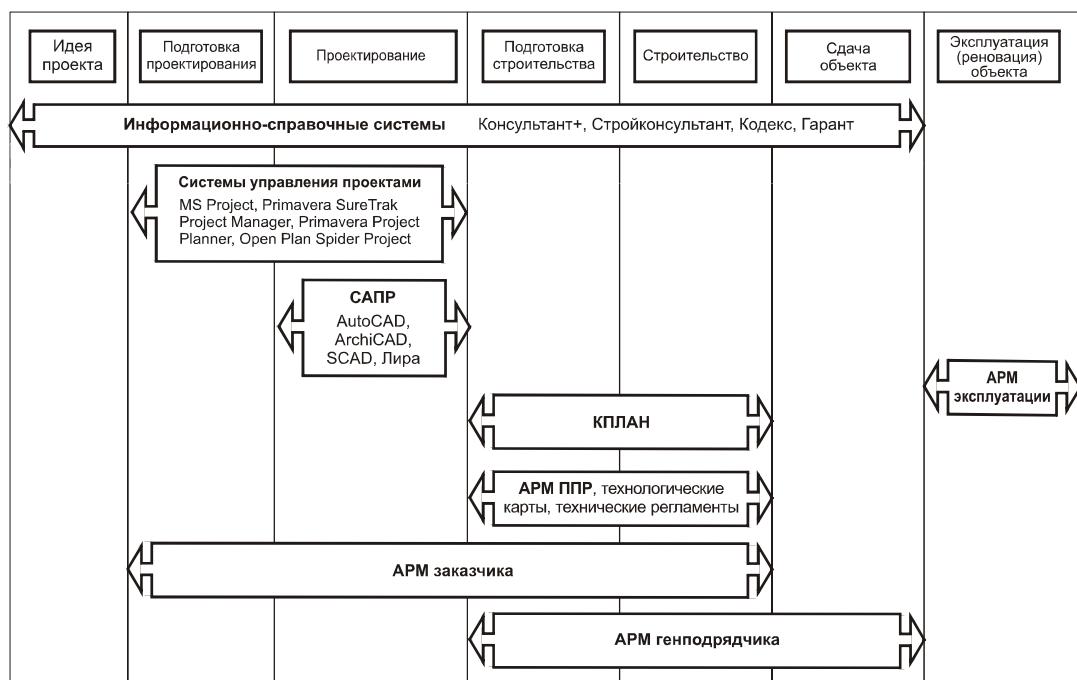


Рисунок 2 – Пример укрупненной структурной схемы информационной поддержки жизненного цикла П-ОС (линия проектирования ПКТИпромстрой) [10].

Необходимость развития такой важной составляющей системно-комплексного подхода к автоматизированному проектированию (АСУС, САПР, АРМ), как технологии интерактивного информационно-графического моделирования в задачах инвестиционно-строительного производства, потребовало выработки концептуального методического подхода и принципов к организации и технологии интеграции систем ИСД, в результате чего была использована схема соотношения концепций CALS, автоматизированных систем управления строительством (АСУС), систем автоматизированного проектирования (САПР) и различного рода интегрированных систем, которые применяются на этапах жизненного цикла процесса проектирования строительного объекта (рис. 3).

Перспективным направлением решения этой проблемы явились выполненные специалистами МГСУ, ГНИИАСС, ПКТИпромстрой, КНУСА и др. разработки единой унифицированной цифровой модели проекта-объекта строительства (УЦМО), которая содержит информатологию описания П-ОС на основных этапах его жизненного цикла и обобщенной схемы взаимодействия на ее основе интегрированной линии проектирования КАЛИПСО в ГНИИАСС и КПЛАН в ПКТИпромстрой и др., предложенные логические и физические реализации структуры данных (БД),

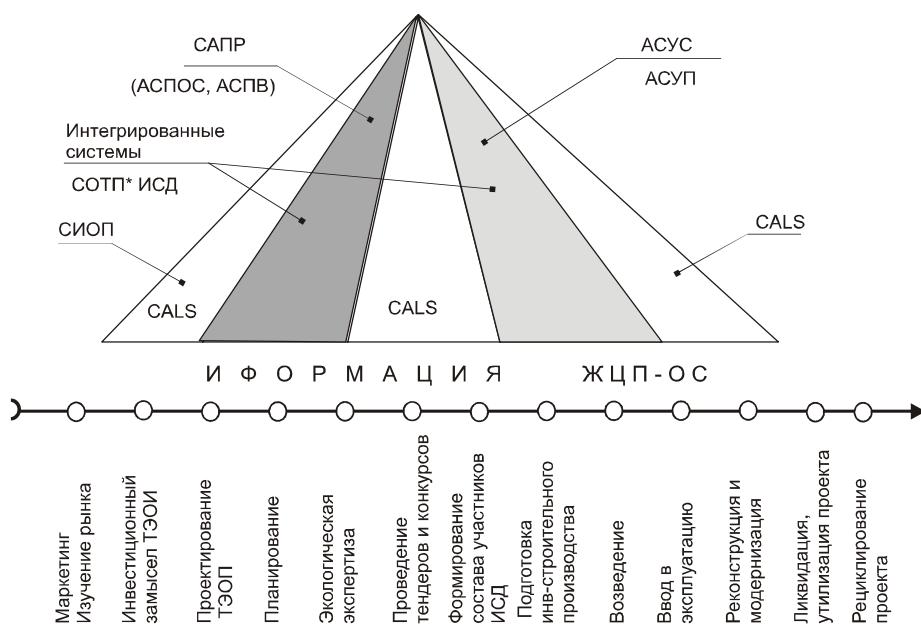


Рисунок 3 – Соотношение концепций CALS с системами ACUS и САПР.

а также нормативной базы данных (НБД) УЦМО для передачи дальше по линии проектирования систем организационно-технологического проектирования и управления П-ОС (СОТП ИСД) [6, 17] или для открытия и редактирования (рис. 4).

**Целью работы** является исследование информационных моделей поддержки жизненного цикла П-ОС и принципов применения концептуальных положений интеграции возможных способов инженерных и аналитических расчетных задач для инфографических моделей различного назначения и формы календарного планирования, организации, управления и учета (мониторинга) ресурса и времени инвестиционно-строительного производства на основе формирования организационно-технологических граffоаналитических модулей (план-графиков) создания и реализации виртуального П-ОС на основных этапах проектирования, обмена потоками информации и программных



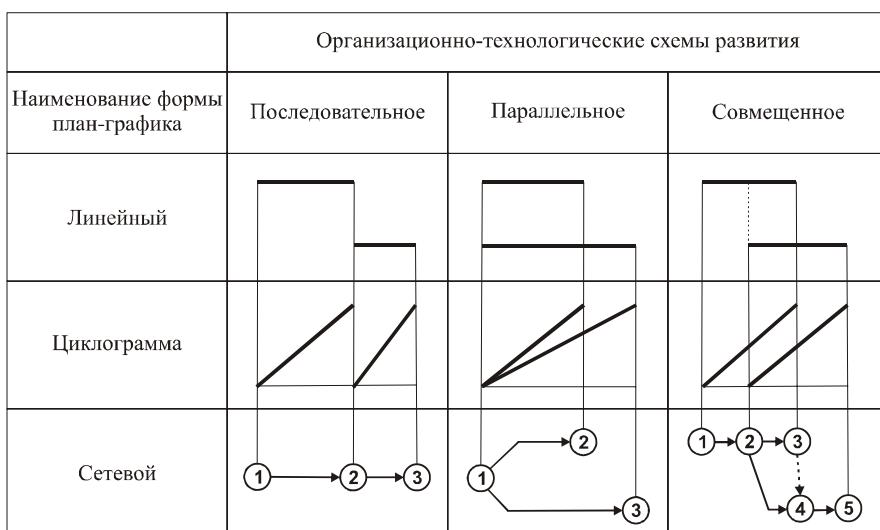
Рисунок 4 – Общая схема функционирования интегрированной линии проектирования КАЛИПСО.

средств единой информационной базы данных УЦМ П-ОС и опыта решения этой задачи при создании и реализации программных комплексов, например, таких как КАЛИПСО, КППЛАН, ПУСК и др.

**Основное содержание работы.** Совокупность расчетно-вычислительных, проектно-графических и организационно-управленческих работ по созданию и использованию модулей-план-графиков (ПГ) определяется нами как календарное планирование.

При этом ПГ являются основными организационно-технологическими документами инвестиционно-строительной подготовки производства (ПОС, ППР) и управления реализацией П-ОС и требует не менее 30 % общей трудоемкости подготовки и последующего инженерного и экспертно-экономического сопровождения.

Результаты выполненных информационно-аналитических обобщений [2, 4, 7, 16] показали, что особенностью интерактивного моделирования и инфографического представления ПГ является разнообразие их форм, тогда как зафиксированные в ней организационно-технологические и экономические решения представляют информационное содержание. Форма (инженерная графика) неразрывно связана с содержанием, однако она его не определяет. Например, взаимная увязка проектных процессов ИСП одного и того же способа проектных решений (ПР) организации их выполнения (последовательного, параллельного, поточно-совмещенного) может быть отражена как проектный результат (ПР-Р) в виде линейного ПГ, циклограммы, сетевого, комбинированного, сопутствующих и т. д. графиков (рис. 5) [2, 4, 12].



**Рисунок 5** – Взаимосвязь формы и содержания двумерных графических моделей процессов инвестиционно-строительного производства.

Следовательно, {ПР → ПР-Р} – это две взаимосвязанные семантические характеристики ПГ, информационно отражающиеся в различных формах (двумерных, трехмерных и др. аналитических зависимостях) и являются отображением принципа процессуального дуализма. Интеграция условий качества ПР определяется ПР-Р информационного качества УЦМ П-ОС по определенным аспектам, частям, функциям и структурам. И только инструментарий АСА (анализ-синтез-адаптация) как средство исследований предопределяет квалиметрию комплексности проектного качества CALS технологий и ИСО 10303 STEP и достижение на основе интеграции специализированных приложений в виде модульных ПГ, технологий их взаимодействия, совместного использования и обмена информационными данными в унифицированных форматах документации подготовки ИСД и единой УЦМ П-ОС для разделов системы организационно-технологического проектирования инвестиций и строительства.

Использование информационно-нормативной базы данных (НБД) УЦМ П-ОС и базы данных (БД) и всей инфраструктуры архитектурно-строительного программного комплекса на основе выделения организационно-технологических модулей ПГ позволяют решить задачи визуализации процесса проектирования и строительства в виде моделей инфографии – двумерных и трехмерных модулей графиков [3, 6, 11].

Организационно-технологический модуль (ОТМ) в виде ПГ рассматриваем как единицу измерения ПР для придания ПР-Р меры соразмерности информационного состояния организационно-технологического цикла (ОТЦ), этапа или стадии в пространстве и времени инвестиционно-строительного производства. Жизненный цикл (ЖЦ) любого П-ОС, начиная с его обоснования, технико-экономического замысла и заканчивая ликвидацией, реализуется через логико-смысловые информационные модели ОТЦ – взаимосвязанные, циклические, непрерывные и повторяющиеся комплексы процессов (работ). Проектная системология (системотехника), как научно-практическая дисциплина, позволяет изучать информационные взаимосвязи, преемственность и наследственность моделей ОТЦ, а также формировать на их основе научную методологию и инструментарий АСА на платформе модульного построения функционально-структурных схем (рис. 6).

Именно ОТЦ может являться необходимой мерой модуляции перехода {ПР → ПР-Р} инфографической структуры ПГ, т. е. характеристик измерения состояния перехода ПГ из одной стадии или этапа ЖЦ УЦМ П-ОС информационного пространства и времени в другую.

Последние обусловлены характеристиками перемещения, совмещения и смещения организационно-технологических взаимосвязей информационных потоков (сообщений), разделением (квантированием) или их агрегацией (укрупнением) для придания соразмерности «стыковых» межстадийных и межфазовых циклов ИСД. Представление ОТМ в виде ПГ ОТЦ функционально-структурно, содержательно и переменно как для каждого ОТЦ (стадии и этапа) и времени в пределах, определенных диапазонов информационной графики специализированного программного обеспечения УЦМ П-ОС, которые обеспечивают формирование документов планирования, организации, управления и контролинга при разработке организационно-инвестиционного проекта (ПоИП), ПОС и ППР и управлении П-ОС [7, 14, 16, 17].

Каждой такой ОТМ-ПГ будет соответствовать программный модуль ПГ для АСУС, САПР и АР-Мов, позволяющий производить необходимые операции ввода-вывода и обработки данных УЦМ П-ОС.

***Выявлено, что унификация модулей (ОТМ-ПГ) может рассматриваться с двух позиций:***

1. Возможности объединения различных модулей {ПР → ПР-Р} в систему (сборка модулей) в ОТЦ СОТП ИСД и П-ОС.

2. Возможности использования информационных отношений и функция одного ОТМ для построения других, различных П-ОС (отраслей).

При этом модули могут быть представлены в следующих формах информации: текст (с расценками ПГ, чертежами и т. п.), например, календарная, сетевая модель с заданными параметрами, алгоритм в виде текстовой записи на специальных языках, например алгоритм формирования методов возведения П-ОС с заданными параметрами организационно-технологической и экономической надежности, алгоритм в виде записи на языке ПЭВМ с приведением их в соответствие с новыми нормами, методами и средствами построения элементов знаковых систем [16].

***Модули могут быть отображены в следующих видах:*** типовой проект ОТМ; типовой алгоритм создания УЦМО, в части документооборота ПОИП, ПОС, ППР, календарного плана и/или строительного плана и многих других ПГ.

***По уровням агрегации*** модули распределяются следующим образом:

для отдельной фазовой задачи (этапа, стадии);

для подсистемы фазы ИСД;

для системы П-ОС в СОТП ИСД;

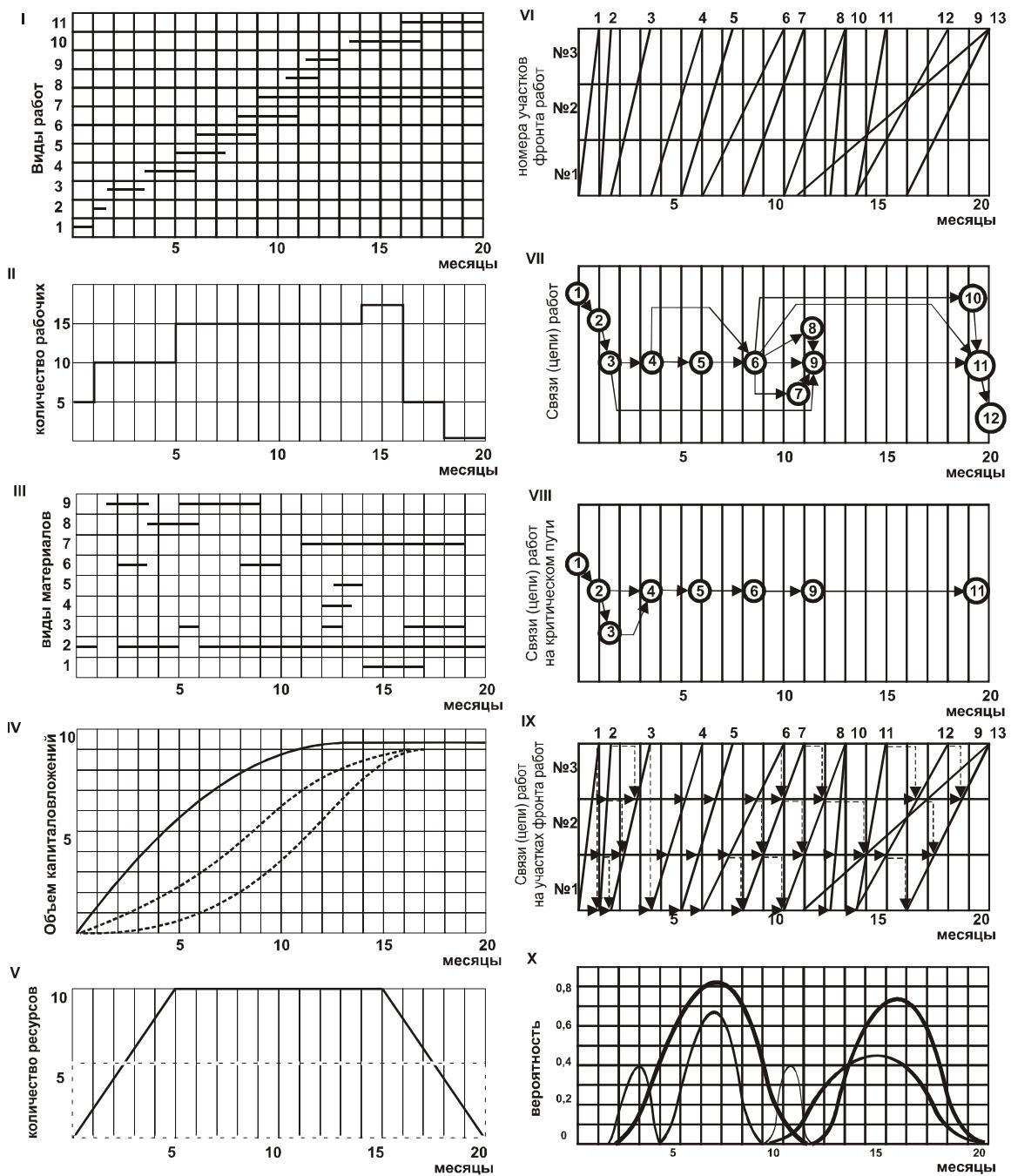
для отраслевого назначения – всей СОТП ИСД.

***Перечисленные формы представления видов и задачи в модулях ПГ ОТМ*** определяются удобством их сквозного графотекстового использования и уровнем унификации САПР и АРМов. Учитывая сказанное, разработка модулей ПГ ОТЦ должна происходить на основе основных принципов:

– ***совместимость*** друг с другом (наличие у них унифицированных информационных фазовых (стадийных, этапных) входов и выходов стыковых зон (разъемов) за счет смещений, перемещений, совмещений информационных характеристик структур и функций);

– ***рекурсивность*** предполагает возможность сочленения (или замены) структур нескольких модулей различных рангов (структур) в модуль (модулем) более высокого ранга;

– ***иерархичность*** (определенная их структурно-функциональная связь по иерархии в жизненном цикле СОТП ИСД и П-ОС, когда каждому модулю присваивается ранг (в некоторых случаях – приоритет), означающий старшинство);



**Рисунок 6** – Графо-аналитические модули ОТЦ в сфере проектной системологии ИСД, определяющие использование ресурсов: **I** – линейный график работ: 1 – подготовительные работы, 2 – земляные работы, 3 – устройство фундаментов, 4 – монтаж колонн, 5 – монтаж стеновых панелей, 6 – монтаж покрытия, 7 – устройство кровли, 8 – штукатурные работы, 9 – отделочные работы, 10 – сантехнические работы, 11 – электромонтажные работы

и т. п.; **II** – график потребности в рабочих; **III** – график поступления конструкций и материалов;

**IV** – график капитальных вложений с нарастающим итогом при различной очередности работ (а, б, в); **V** – график равномерности расходования ресурсов; **VI** – циклограмма работ (номера работ соответствуют линейному графику – модулю 1); **VII** – календаризированный сетевой график работ: 1–2 – подготовительные работы,

2–3 – земляные работы, 3–4 – устройство фундаментов, 8–9 – сантехнические работы, 4–5 – монтаж колонн, 4–6 – монтаж покрытий, 5–6 – монтаж стеновых панелей, 6–7 – устройство кровли, 6–8 – штукатурные работы, 6–9 – электромонтажные работы, 6–10 – устройство полов, 6–11 – монтаж оборудования, 9–11 – отделочные работы, 11–12 – сдача в эксплуатацию; **VIII** – критический путь работ; **IX** – сетевая циклограмма (номера работ соответствуют модулям I и VI); **X** – графики распределения вероятностей отклонения длительности отдельных работ от нормативных сроков.

- **широкополосность** (эффективное функционирование модуля для широкого диапазона изменения (сужения-расширения) входных и выходных параметров задач проектирования и управления, условий и типов П-ОС и производств);
- **взаимозаменяемость** (унификация модулей), (возможность замены одного из них другим или несколькими частями других (возможно с ухудшением экономических и качественных характеристик получаемых проектов) по возможности вне зависимости от условий и типов П-ОС производств);
- **направленность** (разработка организационно-технологических структур и функций их для конкретных задач СОТП ИСД и П-ОС управления, условий и типов П-ОС производств и т. п.);
- **детерминированность** (построение с их помощью алгоритмов (проектов) обработки детерминированной информации);
- **эффективность** (построение с их помощью алгоритмов решения задач проектирования и управления проектами-объектами строительства с гарантированным эффектом от их внедрения);
- **укрупнение структур модулей, проектируемой СОТП ИСД.**

**Модуль, как правило, должен состоять из двух основных частей:**

1. Алгоритма сквозного проектирования СОТП, т. е. он в своих циклах выполняет работу проектировщика в полном фазовом пространстве ИСД;
2. На основании исходной информации по специальному алгоритму вырабатывать результатную информацию П-ОС, соответствовать определенным эталонам и стадиям жизненного цикла в фазовом пространстве ИСД, условиям заказчика, генподрядчика, производства. Эта часть модуля может быть использована самостоительно. Основным свойством модуля является жесткая информационная регламентация состава и содержания текстографического языка исходной и результатной информации.

Следование требованиям гармонизации с международными стандартами CALS-технологий в проектной системологии представления конструкторско-технологических и организационно-управленческих данных позволяют решить проблему обмена информацией между различными подразделениями виртуально-строительного предприятия, а также – между участниками ИСД. Таким образом, концепция CALS и стандарт ИСО 10303 STEP охватывает не только интерактивное проектирование инвестиционно-строительного производства, но и управление П-ОС на всех этапах жизненного цикла строительного объекта в СОТП ИСД.

#### **Выводы.**

1. Автоматизация проектирования на основе модулей интегрированных информационных технологий рассматривается как комплексная проблема развития проектного дела в сфере учебно-образовательной и ИСД. Одним из главных достоинств инфографического интерактивного проектирования является возможность построения структурно-информационных многоуровневых гибких модулей в моделях планирования, организации и управления производственными процессами инвестиционно-строительного производства.

2. Изложенные методологические информационно-программные принципы модульности в контексте проектной системологии предопределяют интеграцию трех систем: САПР – проектирования проекта – виртуального объекта строительства (П-ОС), его возведения и управления их реализацией (АСУС) и различного рода интегрированных систем, которые применяются на этапах и стадиях полного жизненного цикла ИСД.

Основанием для построения схемы соотношения концепции CALS, стандартов ИСО 10303 STEP в единой информационно-логической унифицированной цифровой модели П-ОС и модулей организационно-технологических решений ПГ по его возведению и управлению их изменениями могут быть приняты интерактивные инфографические методы структуры план-графиков.

3. Визуальные инфографические модели несут в себе гораздо большие объемы информации, чем текстовые или математические описания объектов (предметов и процессов) в инвестиционно-строительном производстве. В современных условиях глобализации рыночной экономики и гармонизации стандартов технического регулирования в строительстве стран Евросоюза и СНГ. Они позволяют получать новые результаты, усиливать учебно-образовательный, инженерный и экспертно-экономический аспект интерактивного моделирования процесса системного анализа, сопровождающего инженерные организационно-технологические и инвестиционно-экономические разработки проекта-объекта строительства в сфере ИСД на разных этапах и стадиях информационного сопровождения жизненного цикла П-ОС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абaryков В. П. Оптимизация системы проектирования в строительстве / Абaryков В.П. — М. : Грааль, 2000. — 317 с.
2. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства / Афанасьев В. А. — Л. : Стройиздат, 1990. — 302 с.
3. Барабаш М. С. Новая концепция автоматизации / Барабаш М. С., Коба С. Д. // Строительство Украины. — 2004. — № 5. — С. 31–34.
4. Будников М. С. Основы поточного строительства / Будников М. С., Недавний П. И., Рыбальский В. И. — К. : Госстройиздат УССР, 1961. — 414 с.
5. Глушков В. М. Основы безбумажной технологии / Глушков В. М. — М. : Наука, 1982. — 552 с.
6. Городецкий А. С. Средства поддержки процесса проектирования зданий и сооружений с использованием унифицированной цифровой модели объекта / Городецкий А. С., Бородавка Е. В. // Будівництво України. — 2007. — № 4. — С. 23–27.
7. Гусаков А. А. Системотехника строительства — Гусаков А. А. [2-е изд. перер. и дополн.] — М. : Стройиздат, 1993. — 368 с.
8. Дмитров В. И. Развитие CALS — технологий в России. К проекту Федеральной Программы / Дмитров В. И., Норенков И. П., Павлов В. В. // Информационные технологии. — 1998. — № 4. — С. 2–11.
9. Норенков И. П. Международные стандарты (STEP, PLIB, MANDATE) информационной поддержки этапов жизненного цикла продукции / Норенков И. П. // Информационные технологии. — 1999. — № 4. — С. 49–51.
10. Едличка С. Ю. Автоматизация организаций и управления строительством объекта / Едличка С. Ю., Обухов Л.В. // Промышленное и гражданское строительство. — 2007. — № 2. — С. 59–61.
11. Пресняков Н. И. Концепция проектирования программного и информационного обеспечения виртуальных объектов строительства. Системотехника строительства: энциклопедический словарь. / Пресняков Н. И. [2-е изд.]. — М. : изд-во АСВ, 2004. — С. 116–117.
12. Системотехника / под ред. А. А. Гусакова. — М. : Фонд «Новое тысячелетие», 2002. — 768 с.
13. Теличенко В. И. Моделирование проектов жизненного цикла строительных объектов на основе CALS-технологий / Теличенко В. И. // РААСН Вестник отделения строительных наук. — 2000. — Вып. 3. — С. 178–183.
14. Уваров Е. П. К вопросу построения модульной структуры автоматизированной системы проектирования возведения (АСПВ) промышленных объектов / Уваров Е. П., Мартемьянов А. М. // Автоматизация строительного проектирования (Организационное проектирование). — М. : ЦНИПИАСС, 1975. — Вып. 8. — С. 160–169.
15. Уваров П. Е. Логико-смысловое моделирование многоуровневых структур организационно-технологического проектирования строительных объектов / Уваров П. Е., Кравчуновская Т. С., Шпарбер М. Е. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наукових праць. — 2009. — Вип. 2009–69(80). — С. 95–107.
16. Чулков В.О. Инфография : [в кн. Системотехника]. / Чулков В.О. — М. : Фонд «Новое тысячелетие», 2002. — С. 155–179.
17. Уваров П. Е. Принципы интегрированного организационно-технологического проектирования инвестиционно-строительной деятельности : автореф. дисс. на соискание научн. степ. канд. техн. наук. : спец. 05.23.08 «Технология промышленного и гражданского строительства» / Уваров П. Е. — Днепропетровск : ПГАСА, 2008. — 20 с.
18. Фисун В. Н. Комплексная оптимизация проектных решений промышленных зданий. (Обзор) / Фисун В. Н. — М. : ВНИИИС, 1987. — 71 с.

Получено 21.09.2010

П. Е. УВАРОВ<sup>a</sup>, М. Е. ШПАРБЕР<sup>b</sup>, Е. П. УВАРОВ<sup>b</sup>  
МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ІНФОГРАФІЧНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

<sup>a</sup>Східноукраїнський національний університет ім. В.І. Даля (м. Луганськ), <sup>b</sup>Головний інститут «Академпромжитреконструкція»

Пропонується методичний підхід побудови інфографічної моделі на базі концепції використання CALS-технологій і інформаційно-логічного масиву календарного планування двовимірних й тривимірних план-графіків. Дається набір систематизованих характеристик модуля, відзначається їх специфіка в умовах використання САПР і АРМов планування й управління проектами. **проектна системологія, концепція CALS, інфографія, засоби інтеграції, цифрова модель, віртуальний проект-об'єкт будівництва (П-ОБ), організаційно-технологічні цикли, графоаналітичні модулі план-графіків, систематизація рівнів, форм і призначення модулів**

P. E. UVAROV<sup>a</sup>, M. E. SHPARBER<sup>b</sup>, E. P. UVAROV<sup>b</sup>

MODULAR PRINCIPLE OF INFOGRAPHIC MODEL PLOTTING OF  
INTERACTIVE DESIGNING OF INVESTMENT AND CONSTRUCTION WORK

<sup>a</sup>Dahl Eastern Ukrainian National University (Lugansk), <sup>b</sup>Leading Research Institute  
«Akadempromzhilrekonstruktsiya»

The methodical approach of the infographic model designing on the conceptual basis of the CALS (practices and information and logical file of the calendar planning of two-dimensional and three-dimensional progress charts) has been offered. The set of the systematised characteristics of the module has been given; their specific characters in terms of usage of the system of automatic designing and automatic workplace planning and the management of designs has been provided.

**designing systemology, CALS conception, infography, integration tools, digital model, virtual design project of construction (DPC), organizational and process cycles, graphical and analytical modules of progress charts, classification of levels, forms and purposes of modules**

**Уваров Павло Євгенович** — к. т. н., доцент кафедри будівництва Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, член-кореспондент Академії будівництва України. Наукові інтереси: розвиток загальної методики інтегрованого організаційно-технологічного проектування і управління проектами інвестиційно-будівельної діяльності. Участь у розробці будівельних норм проектування.

**Шпарбер Марина Євгенівна** — науковий співробітник головного інституту Академпромжилреконструкція. Наукові інтереси: підвищення ефективності керування вартістю реалізації проектів інвестиційно-будівельної діяльності.

**Уваров Євген Павлович** — к. т. н., зам. директора з наукової роботи головного інституту Академпромжилреконструкція, доктор філософії в галузі техніки, професор ДонНАБА. Академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: науково-технічне забезпечення та інженерний супровід рішення проблем потокової організації виробництва й промислово-цивільного будівництва, системотехніки в будівництві, сітевих методів планування й управління проектами, організаційно-технологічної надійності та безпеки експлуатації й реконструкції складних об'єктів Донбасу та України.

**Уваров Павел Евгеньевич** — к. т. н., доцент кафедры строительства Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, член-корреспондент Академии строительства Украины. Научные интересы: развитие общей методики интегрированного организационно-технологического проектирования и управления проектами инвестиционно-строительной деятельности. Участие в разработке строительных норм проектирования.

**Шпарбер Марина Евгеньевна** — научный сотрудник главного института Академпромжилреконструкция. Научные интересы: повышение эффективности управления стоимостью реализации проектов инвестиционно-строительной деятельности.

**Уваров Евгений Павлович** — к. т. н., зам. директора по научной работе главного института Академпромжилреконструкция, доктор философии в области техники, профессор ДонНАСА. Академик Академии строительства Украины. Научные интересы: научно-техническое обеспечение и инженерное сопровождение решения проблем поточной организации производства и промышленно-гражданского строительства, системотехники в строительстве, сетевых методов планирования и управления проектами, организационно-технологической надежности и безопасности эксплуатации и реконструкции сложных объектов Донбасса и Украины.

**Uvarov Pavel Yevgenyevich** — a Ph. D.(Engineering), an Assistant Professor of the Civil Engineering Department of the Dahl Eastern Ukrainian National University. Research interests: development of the general procedures and techniques of investment and civil engineering activity. The designing rates elaboration.

**Shparber Marina Yevgenyevna** — a research worker of the Research Institute of «Academpromgilreconstruction». Research interests: increase in management efficiency by realization value of investment and engineering activity.

**Uvarov Evgeny Pavlovych** — a Ph. D. (Engineering), a Deputy Director on Science of the Leading Research Institute «Akadempromzhilrekonstruktsiya», a Professor of the DonNACEA, an Academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine. Research interests: scientific and technical provision and engineering support of the problems solution of the straight-line flow organization of manufacturing and industrial and civil engineering, network methods of designing and management, organizational and technological reliability operation safety at operation and refurbishment of the complex objects of Donbas and Ukraine.

УДК 725.41:624.131.253:699.8

**А. В. КУХАРЬ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ВЛИЯНИЕ РАЗУПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ВОКРУГ КАРСТОВОГО ПРОВАЛА НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ПРОЕКТИРУЕМЫЕ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ**

В статье приведены результаты исследования влияния разуплотнения грунта вокруг карстовой воронки на сооружения. Рассматривалось наиболее неблагоприятное местоположение карстовой воронки в центре под зданием. Исследовалось два вида карстозащитных мероприятий (фундамент в виде сплошной плиты и фундамент в виде перекрестных балок). Было проведено сравнение полученных результатов исследования по определению расхода арматуры на фундаментные конструкции с учетом зоны разуплотнения вокруг карстового провала и без учета рассматриваемых зон. Было определено, что учет зоны разуплотнения грунта вокруг карстовой воронки необходим при проектировании зданий и сооружений на таких территориях.

**карст, воронка, разуплотнение грунта, сооружение**

**Формулировка проблемы.** Основной ошибкой при проектировании зданий и сооружений на карстовых территориях является не учет несущей способности грунтов в зоне вокруг карстовых воронок. Вокруг карстовой воронки несущая способность грунта значительно понижается. Это обуславливается тем, что вокруг карстовой воронки существует зона разуплотнения грунта. Поэтому определение влияния разуплотнения грунта вокруг карстовой воронки на сооружения является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования в области определения влияния разуплотнения грунта вокруг карстовой воронки на сооружения недостаточно отражены в нормативной литературе. Поэтому этот вопрос требует детального рассмотрения.

**Цель.** Целью исследования является определение влияния разуплотнения грунта в зоне вокруг карстового провала на здания и сооружения, проектируемые на карстовых территориях.

Указанная цель осуществляется с помощью решения следующих задач:

1. Исследование напряженно-деформированного состояния фундаментных конструкций, попавших в зону карстового провала.
2. По найденным усилиям определить расход арматуры на фундаментные конструкции с учетом зоны разуплотнения вокруг карстового провала.
3. Сравнить полученные результаты исследования по определению расхода арматуры на фундаментные конструкции с учетом зоны разуплотнения вокруг карстового провала и без учета рассматриваемых зон.

Определение напряженно-деформируемого состояния фундаментных конструкций, попавших в зону карстового провала, осуществляется при помощи ПК ЛИРА. Наиболее неблагоприятным месторасположением карстовой воронки является воронка в центре здания. Поэтому рассмотрим именно этот случай. Параметры зоны разуплотнения грунта моделируются с помощью ПК ЛИРА путем задания переменного коэффициента жесткости основания. Коэффициент жесткости основания определяется по формуле 1.

$$Cz = K Cz_0, \quad (1)$$

где  $Cz_0$  — коэффициент жесткости ненарушенного основания;

$K$  — коэффициент разуплотнения, определяемый по формуле 2:

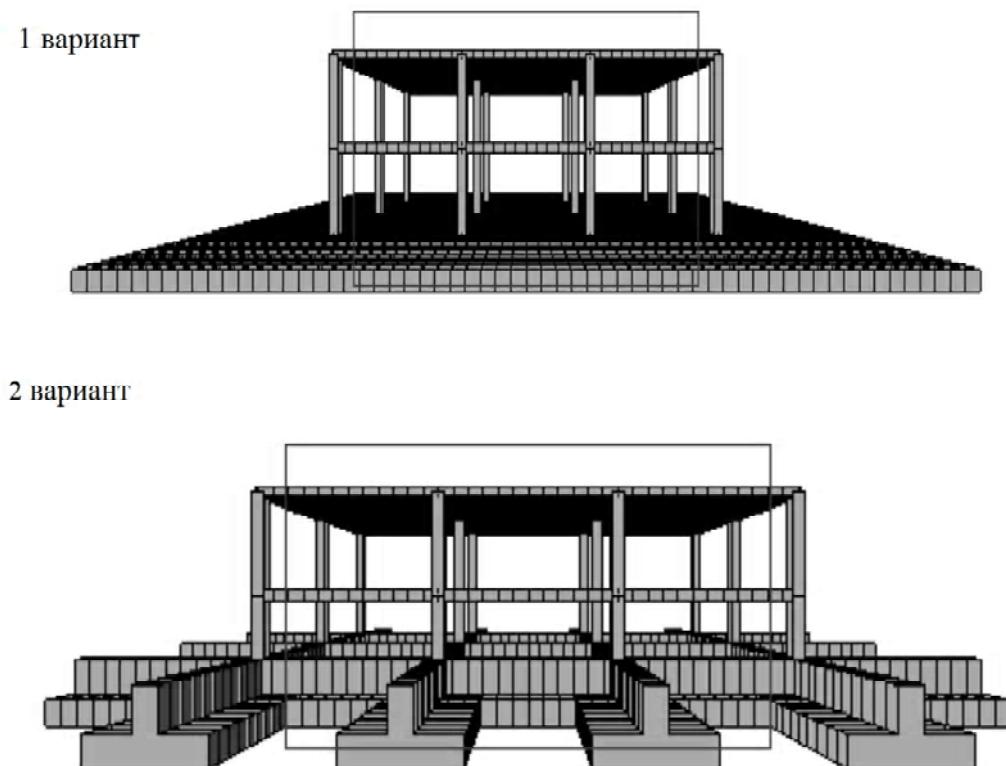
$$K = [1 - 0,1(d-3)] + 0,1(d-3) \frac{2r-d}{d}, \quad (2)$$

где  $d \geq 3$  м — диаметр карстовой воронки;

$d \geq r \geq \frac{d}{2}$  — расстояние от центра воронки до точки в зоне разуплотнения грунта, в которой определяется коэффициент жесткости.

При этом: при  $r \geq \frac{d}{2}$   $K = 0$ , а при  $r > d$   $K = 1,0$ .

Рассмотрим два варианта карстозащитных мероприятий, т. е. фундаменты в виде сплошной плиты и перекрестные балки (рис. 1). Для обеспечения необходимой жесткости и прочности фундаментов при воздействии карста в краевых участках исследуемого здания предусмотрены консольные удлинения фундаментных балок и уширение фундаментной плиты за периметр сооружения. Длину балочных консолей принимаем не менее 0,7 прогнозируемого расчетного провала. Плитную консоль удлиняем на не менее чем 0,4 расчетного провала. Размер карстового провала в плане (диаметр провала) является основным исходным параметром для выбора противокарстовой конструктивной защиты.



**Рисунок 1** — Расчетная схема исследуемого здания с традиционными мерами противокарстовой защиты:  
1 вариант — фундамент в виде сплошной плиты; 2 вариант — фундамент в виде перекрестных балок.

Диаметр карстового провала зависит от параметров подземных карстовых форм в основании сооружений, физико-механических характеристиках грунтов по всему геологическому разрезу. В нашем случае исследуется воронка диаметром 3, 6 и 9 м.

При расчете фундаментных конструкций на закарстованном основании в виде сплошной плиты и перекрестных балок применяем модель основания в виде линейно-деформируемого слоя с воронкой у поверхности. Расчет фундаментных конструкций исследуемого здания выполняется с учетом совместной работы фундамента с верхним строением. При этом допускается учитывать только упругую стадию работы железобетона. При расчете конструкций на основаниях с поверхностным карстом необходимо учитывать остаточные деформации грунта.

При расчете фундаментных конструкций на закарстованном основании в виде сплошной плиты и перекрестных балок применяем модель основания в виде линейно-деформируемого слоя с воронкой у поверхности. Расчет фундаментных конструкций исследуемого здания выполняется с учетом совместной работы фундамента с верхним строением. При этом допускается учитывать только упругую стадию работы железобетона. При расчете конструкций на основаниях с поверхностным карстом необходимо учитывать остаточные деформации грунта.

Расчетная схема исследуемого здания представлена в виде ансамбля конечных элементов размером не более 0,5 м с той целью, чтобы точнее определить усилия, возникающие в конструкциях при воздействии карстового провала. Колонны и балки моделируются стержневыми конечными элементами. Плиты перекрытий и фундаментная плита моделируются четырехугольными конечными элементами.

По найденным усилиям, с помощью ПК ЛИРА, определена рабочая арматура фундаментных конструкций с учетом зоны разуплотнения вокруг карстового провала (табл. 1), расход рабочей арматуры (табл. 2) и удельный расход рабочей арматуры (масса, кг/м<sup>2</sup>) на конструкции исследуемого здания (табл. 3).

Таблица 1 – Рабочая арматура конструкций исследуемого здания

Место расположения воронки	Диаметр воронки, м	ВАРИАНТ №1 Фундаментная плита		ВАРИАНТ №2 Перекрестные ленты	
		Изгибающий момент, кНм	Диаметр арматуры d, мм	Изгибающий момент, кНм	Диаметр арматуры d, мм
1	2	3	4	5	6
<b>Фундамент</b>					
Воронка в центре	Ненарушенное основание	750	<b>12Ф18</b> As = 50,9 см <sup>2</sup>	4100	<b>12Ф25</b> As = 98,2 см <sup>2</sup>
	3 (без учета k) 3 (с учетом k)	770	<b>12Ф18</b> As = 50,9 см <sup>2</sup>	5900	<b>12Ф25</b> As = 98,2 см <sup>2</sup>
	6 (без учета k)	800	<b>12Ф20</b> As = 62,8 см <sup>2</sup>	7800	<b>12Ф32</b> As = 160,8 см <sup>2</sup>
	6 (с учетом k)	1100	<b>12Ф22</b> As = 76,0 см <sup>2</sup>	10000	<b>12Ф36</b> As = 203,6 см <sup>2</sup>
	9 (без учета k)	900	<b>12Ф20</b> As = 62,8 см <sup>2</sup>	8000	<b>12Ф32</b> As = 160,8 см <sup>2</sup>
	9 (с учетом k)	1200	<b>12Ф25</b> As = 98,2 см <sup>2</sup>	11000	<b>12Ф36</b> As = 203,6 см <sup>2</sup>

Таблица 2 – Расход рабочей арматуры (масса, т) на фундамент исследуемого здания

Место расположения воронки	ВАРИАНТ №1 Фундаментная плита					ВАРИАНТ №2 Перекрестные ленты			
	Диаметр воронки, м	Ненарушенное основание	3	6	9	Ненарушенное основание	3	6	9
Воронка в центре (без учета k)	34,6	34,6	42,6	42,6	6,7	6,7	14,1	14,1	
Воронка в центре (с учетом k)	34,6	34,6	51,5	66,6	6,7	6,7	17,8	17,8	

**Таблица 3** – Удельный расход рабочей арматуры (масса, кг/м<sup>2</sup>) на фундамент здания

Место расположения воронки	ВАРИАНТ №1 Фундаментная плита				ВАРИАНТ №2 Перекрестные ленты			
	Ненарушенное основание	3	6	9	Ненарушенное основание	3	6	9
Диаметр воронки, м	Ненарушенное основание	3	6	9	Ненарушенное основание	3	6	9
Воронка в центре (без учета k)	48	48	59,2	59,2	9,3	9,3	19,6	19,6
Воронка в центре (с учетом k)	48	48	71,5	92,5	9,3	9,3	24,7	24,7

По полученным результатам видно, что при образовании воронки диаметром 3 м, с учетом зоны разуплотнения грунта, усиление фундаментной конструкций – не требуется. Это связано с тем, что для диаметра карстовой воронки 3 м указанное влияние отсутствует. Для остальных исследуемых воронок усиление фундаментных конструкций необходимо. Удельный расход арматуры на фундамент исследуемого здания при воронке диаметром 6м без учета разуплотнения основания вокруг карстовой воронки составил 59,2 кг/м<sup>2</sup>, а с учетом указанного влияния – 71,5 кг/м<sup>2</sup>. Что соответствует увеличению расхода арматуры в 1,2 раза (фундамента в виде сплошной плиты). При учете зоны разуплотнения грунта для карстовой воронки 6 м расхода арматуры требуется в 1,5 раза больше, чем для тех же параметров карстовой воронки без учета ослабления основания.

При использовании карстозащитных фундаментов в виде перекрестных балок с учетом влияния зоны разуплотнения основания вокруг карстовой воронки расход арматуры на фундамент увеличивается в 1,2 раза.

**Вывод:** Данные исследования показали, что при проектировании зданий и сооружений на карстовых территориях необходимо учитывать несущую способность грунтов в зоне вокруг карстовых воронок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толмачев В. В. Инженерное карстоведение / Толмачев В. В., Ройтер Ф. – М. : Недра, 1990. – 151 с.
2. Гензерский Ю. В. ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования : [приложение к пособию ЛИРА 9.2.] / Гензерский Ю. В., Куценко А. Н., Марченко Д. В., Слободян Я. Е., Титок В. П. – К. : НИИАСС, 2006. – 124 с.
3. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01–84\*. – [Действующий с 1986–01–01]. – Госстрой России. – М. : ГУПЦПП, 2002. – 76 с. (Строительные нормы и правила).
4. Методические рекомендации по проектированию фундаментов зданий и сооружений в карстовых районах / НИИСК Горстроя СССР. – К. : 1977. – 76 с.
5. Рекомендации к проектированию фундаментов на закарстованных территориях / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, 1985. – 79 с.

Получено 17.09.2010

А. В. КУХАР

ВПЛИВ РОЗУЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТУ ДОВКОЛА КАРСТОВОГО ПРОВАЛУ НА  
БУДІВЛІ І СПОРУДИ, ЯКІ ПРОЕКТУЮТЬСЯ В КАРСТОВИХ РАЙОНАХ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті приведені результати дослідження впливу розущільнення грунту довкола карстової воронки на споруди. Розглядалося найбільш несприятливе місце розташування карстової воронки в центрі під будівлею. Досліджувалися два види карстозахисних заходів (фундамент у вигляді суцільної плити і фундамент у вигляді перехресних балок). Було проведено порівняння отриманих результатів дослідження за визначенням витрати арматури на фундаментні конструкції з урахуванням зони ущільнення довкола карстового провалу і без урахування даних зон. Було визначено, що врахування зони розущільнення грунту довкола карстової воронки необхідний при проєктуванні будівель і споруд на таких територіях.

**карст, воронка, розущільнення грунту, споруда**

A. V. KUKHAR

IMPACT OF SOIL FAILURE AROUND KARST GAPS ON BUILDINGS AND  
STRUCTURES DESIGNED IN KARST REGIONS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper has shown the findings of investigations of impact of soil failure around a karst gaping on buildings. The most adverse location of a karst gaping in the center under the building has been studied. Two types of karst protection arrangements have been investigated (the foundation in the form of a continuous slab and a foundation in the form of cross-web girders). The obtained findings have been compared on reinforcement discharge determination to the foundation structures with regard to the soil failure zones around a karst gap and without them. The regard of a soil failure zone around a karst gaping has been determined to be necessary at construction designs in this kind of regions.

**karst, gaping, soil failure, construction**

**Кухар Ганна Володимирівна** — аспірант, викладач-стажер кафедри «Основи, фундаменти та підземні споруди» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: будівництво будівель і споруд на карсто-небезпечних теренах.

**Кухар Анна Владиславівна** — аспирант, преподаватель-стажер кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: строительство зданий и сооружений на карстоопасных территориях.

**Kukhar Ganna Volodymyrivna** — a graduate student, an instructor of the Foundations and Underground Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: civil engineering on the surface of karst regions.

УДК 532.5:66.023

О. В. ЧЕБОТАРЕВА, В. А. СЕРБИН, Н. В. КОЛОСОВА  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## ТЕПЛООБМЕН С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ МЕТАНТЕНКА ДЛЯ СБРАЖИВАНИЯ БИОМАССЫ

Предложена методика определения тепловых потерь от метантенка в окружающую среду. Показана эффективность использования тепловой изоляции внешних поверхностей метантенка для уменьшения потерь теплоты.

**метантенк, тепловая изоляция, теплообмен**

**Формулировка проблемы.** Современное состояние поставок природного газа для промышленных предприятий и коммунального хозяйства Украины в условиях постоянного роста цен на энергоносители требует интенсивного внедрения технологий получения альтернативного газообразного топлива – биогаза, получаемого путем анаэробного сбраживания органической массы (СОМ) в специальных емкостях – метантенках (МТ).

Процессы СОМ успешно осуществляются при температурах в МТ, превышающих температуру окружающей среды (ОС).

Для поддержания требуемой температуры СОМ в МТ путем компенсации потерь теплоты в ОС используется часть получаемого биогаза, расход которого достигает 30 % от образующегося, что снижает выход товарного продукта [1].

Поэтому целесообразна разработка метода расчета теплопотерь и способов их снижения.

**Анализ последних достижений.** Одним из источников сырья для получения биогаза являются отходы животноводческого комплекса. Ежегодно в Украине образуется 66 млн. т отходов, пригодных для сбраживания, что эквивалентно 1,0...1,3 млн. т.у.т. [2, 3].

Общий годовой потенциал выработки биогаза составляет 5 млрд. м<sup>3</sup>, что эквивалентно 4,3 млн. т.у.т. [4].

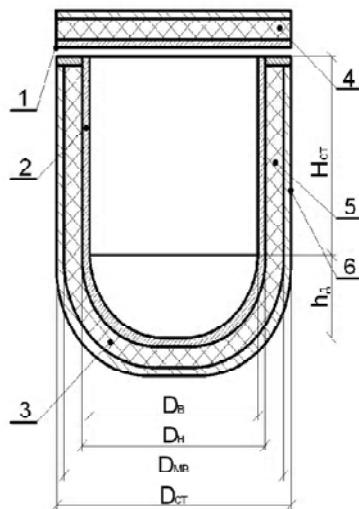
Эффективное получение биогаза при сбраживании может быть обеспечено на крупных современных биогазовых установках (БУ), тысячи которых успешно эксплуатируются за рубежом. В Украине построена и введена в эксплуатацию одна установка по переработке навоза от 14 000 свиней, конструктивные и технологические характеристики которой приведены в работах [3, 5]. Вводятся в эксплуатацию несколько установок компании ZORG.

Однако при описании процессов получения биогаза в МТ рассматриваются в основном вопросы, касающиеся размеров МТ, количественных и качественных характеристик получаемого топлива [6, 7] без учета потерь теплоты в ОС и расхода греющего теплоносителя (ГТН) и топлива для поддержания в МТ стабильного температурного режима СОМ.

**Цель и формулировка задачи исследования.** Настоящая работа посвящена разработке метода расчета потерь теплоты в ОС от наружных поверхностей МТ при отсутствии и при наличии тепловой изоляции.

**Изложение основного материала исследования.** Для анализа процессов внешнего теплообмена принят МТ, схема которого, основные габаритные размеры и особенности внутреннего теплообмена приведены ранее [8, 9]. Схема МТ и используемые в настоящей работе габаритные размеры представлены на рис. 1.

Принималось, что крышка 1, цилиндрическая часть 2 и днище 3 изготовлены из котельной стали 20 К толщиной  $\delta_k = 6$  мм. Для тепловой изоляции 4, 5 принята минеральная вата PAROC UNS 37 толщиной  $\delta_{mb} = 100$  мм, покрытая стеклотканью 6 толщиной  $\delta_{ct} = 5$  мм.



**Рисунок 1** – Схема продольного сечения корпуса метантенка: 1 – крышка; 2 – цилиндрическая часть; 3 – днище; 4, 5 – тепловая изоляция; 6 – слой крепежного материала.

Коэффициенты теплопроводности приняты по данным [10] и составляли соответственно  $\lambda_k = 57$ ;  $\lambda_{mb} = 0,037$ ;  $\lambda_{ct} = 0,044 \frac{Bm}{m \cdot \text{град}}$ .

Расчетные габаритные размеры по данным [8] составили  $D_B = 2,75$  м;  $D_h = 2,762$  м;  $D_{mb} = 2,962$  м;  $D_{ct} = D_k = 2,972$  м;  $H_{ct} = 2,9$  м.

При анализе теплообмена учитывали особенности теплоотдачи к воздуху от плоской крышки, цилиндрической части МТ и днища при омывании их потоком воздуха, движущегося со скоростью  $w_{bx} = 10$  м/с и имеющего температуру  $t_{bx} = -10$  °C.

Теплообмен между СОМ и ОС рассмотрен для двух вариантов:

- вариант «А» – без тепловой изоляции металлического корпуса МТ;
- вариант «Б» – при наличии на корпусе МТ двух слоев изоляции.

Перенос теплоты от плоской крышки к воздуху соответствует частному случаю конвективного теплообмена – омыванию плоской горизонтальной стенки потоком жидкости. При этом характерный размер омываемой поверхности  $l_k$  равен:

$$l_k = \frac{2D_k}{\pi}. \quad (1)$$

Теплофизические характеристики воздуха для принятой температуры приведены в работе [11]. По значению числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_{bx} \cdot l_k}{v_{bx}}, \quad (2)$$

где  $v_{bx}$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ ; установлено, что режим омывания крышки турбулентный. Критериальное уравнение для расчета числа Нуссельта имеет вид [11]:

$$Nu_k = 0,032 Re_k^{0,8}, \quad (3)$$

а соответствующее значение коэффициента теплоотдачи от крышки к воздуху  $\alpha_k$  равно:

$$\alpha_k = \frac{Nu_k \cdot \lambda_{bx}}{l_k}, \quad (4)$$

где  $Nu_k = \frac{\alpha_k \cdot l_k}{\lambda_{bx}}$  – число Нуссельта;

$\lambda_{bx}$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м град).

Коэффициент теплопередачи через крышку МТ определяли по уравнению:

$$K_k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k^{COM}} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{\delta_{mb}}{\lambda_{mb}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_k}}, \quad (5)$$

где  $\alpha_k^{COM}$  — коэффициент теплоотдачи к крышке внутри МТ, Вт/(м<sup>2</sup> град); ( $\alpha_k^{COM} = 1,3 \frac{Bm}{m^2 \cdot grad}$  [9]).

Для варианта «А» в знаменателе уравнения (5) третье и четвертое слагаемые отсутствуют. Тепловой поток через крышку МТ равен:

$$Q_{\tau_k} = \frac{K_k \cdot \pi \cdot D_k^2 \cdot (t_{COM} - t_{ex})}{4}, \quad (6)$$

где  $t_{COM}$  — температура СОМ в МТ, ( $t_{COM} = 40$  °C [9]).

Теплообмен между цилиндрической частью МТ и воздухом рассматривали как омывание потоком жидкости одиночного цилиндра. В качестве характерного размера  $D_u$  для варианта «А» принимали  $D_u$ , для варианта «Б» —  $D_{cr}$ .

Определив число Рейнольдса  $Re_u$ :

$$Re_u = \frac{w_{ex} \cdot D_u}{v_{ex}}, \quad (7)$$

и число Нуссельта  $Nu_u$  [11]:

$$Nu_u = 0,22 Re_u^{0,5}, \quad (8)$$

для обоих вариантов рассчитали коэффициенты теплоотдачи от наружных поверхностей цилиндров к воздуху:

$$\alpha_u = \frac{Nu_u \cdot \lambda_{ex}}{D_u}. \quad (9)$$

Поскольку отношения внутренних и наружных диаметров  $n_A = D_u / D_b < 1,4$  и  $n_B = D_{cr} / D_b < 1,4$  для расчета коэффициента теплопередачи  $K_u$  приняли уравнение (5), применяемое для плоской стенки, в котором величина  $\alpha_u^{COM} = 914,5$  Вт/(м<sup>2</sup> град) [9].

Тепловой поток через цилиндрическую стенку определен по уравнению:

$$Q_{\tau_u} = K_u \cdot \pi D_u \cdot H \cdot (t_{COM} - t_{ex}). \quad (10)$$

При анализе теплообмена между днищем МТ и воздухом было принято, что овальное днище представляет собой одно- или трехслойный шаровой сегмент.

В качестве характерного размера приняли диаметр наружной поверхности  $D_d$ , который для варианта «А» равен  $D_u$ , для варианта «Б» —  $D_{cr}$ .

После расчета числа Рейнольдса  $Re_d$  из выражения:

$$Re_d = \frac{w_{ex} \cdot D_d}{v_{ex}}, \quad (11)$$

число Нуссельта для случая обтекания шара находили по уравнению [12]:

$$Nu_d = 2 + 0,03 Re_d^{0,5} \cdot Pr_{ex}^{0,33} + 0,35 Re_d^{0,58} \cdot Pr_{ex}^{0,35}, \quad (12)$$

а коэффициент теплоотдачи от днища к воздуху  $\alpha_d$  по формуле:

$$\alpha_d = \frac{Nu_d \cdot \lambda_{ex}}{D_d}. \quad (13)$$

Коэффициент теплопередачи через шаровую поверхность  $K_{\Delta}$  [Вт/град] выражается уравнением [13]:

$$K_{\Delta} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Delta}^{COM} \cdot D_B^2} + \frac{1}{2\lambda_k} \cdot \left( \frac{1}{D_e} - \frac{1}{D_h} \right) + \frac{1}{2\lambda_{mb}} \cdot \left( \frac{1}{D_h} - \frac{1}{D_{mb}} \right) + \frac{1}{2\lambda_{cm}} \cdot \left( \frac{1}{D_{mb}} - \frac{1}{D_{cm}} \right) + \frac{1}{\alpha_{\Delta} \cdot D_{\Delta}^2}}, \quad (14)$$

где  $\alpha_{\Delta}^{COM}$  — коэффициент теплоотдачи от СОМ к внутренней поверхности днища,  $\frac{Bm}{m^2 \cdot \text{град}}$ ,  
 $(\alpha_{\Delta}^{COM} = 186 \frac{Bm}{m^2 \cdot \text{град}})$ .

Боковая поверхность шарового сегмента  $F_{\Delta}$  равна:

$$F_{\Delta} = \pi \left[ \left( \frac{D_{\Delta}}{2} \right)^2 + h_{\partial}^2 \right], \quad (15)$$

где  $\frac{D_{\Delta}}{2}$  и  $h_{\partial}$  — хорда и стрела шарового сегмента, м.

Для варианта «А» стрела равна  $h = h_{\Delta} + \delta_{cr}$ , для варианта «Б» —  $h = h_{\Delta} + \delta_{cr} + \delta_{mb} + \delta_{ct}$ .  
 Тепловой поток через днище к воздуху может быть вычислен по уравнению:

$$Q_{\tau_{\Delta}} = K_{\Delta} \cdot (t_{COM} - t_{ex}) \cdot \frac{F_{\Delta}}{F_{\text{ш}}}, \quad (16)$$

где  $F_{\text{ш}}$  — площадь поверхности шара,  $\text{м}^2$ .

Выполнена оценка значений температур на поверхностях конвективного теплообмена для вариантов «А» и «Б». Основные результаты расчетов приведены в табл. 1.

**Таблица 1** — Результаты расчета основных показателей теплообмена метантенка с окружающей средой

Показатели	Размерность	Вариант А			Вариант Б		
		Крышка	Цилиндр	Днище	Крышка	Цилиндр	Днище
Коэффициент теплоотдачи	$\frac{Bm}{m^2 \cdot \text{град}}$	35,77	12,08	13,06	35,77	11,73	12,66
Коэффициент теплопередачи	$\frac{Bm}{m^2 \cdot \text{град}}$	1,2516	11,907	—	0,2757	0,3432	—
	$\frac{Bm}{\text{град}}$	—	—	92,92	—	—	2,82
Тепловой поток	Вт	425,7	14893,9	4031,4	94,4	463,8	126,1
Температура на поверхности конвективного теплообмена	°С	-8,15	39,3	39,63	-9,59	-8,54	-8,69
Суммарный тепловой поток	Вт	19441,0			684,1		

Суммарный тепловой поток через наружные поверхности рассматриваемого МТ:

$$Q_{\tau_{общ}} = Q_{\tau_k} + Q_{\tau_u} + Q_{\tau_{\Delta}}, \quad (17)$$

с применением тепловой изоляции предложенной конструкции снижается в 28,4 раз.

**Выводы и рекомендации по дальнейшему использованию.** Применение тепловой изоляции МТ не приводит к значительному изменению теплоотдачи, но существенно снижает интенсивность тепло-передачи и, как следствие, тепловые потери в окружающую среду.

Результаты расчетов теплопотерь МТ по предложенной методике для конкретных условий их эксплуатации позволяют определить необходимый расход греющего теплоносителя и прогнозировать расход получаемого биогаза на поддержание стабильного температурного режима сбраживания биомассы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шрамков В. М. Купите биогазовую установку / В. М. Шрамков // Энергия. Экономика, техника, экология. — 1987. — № 8. — С. 47–48.
2. Шомин А. А. Биогаз на сельском подворье / А. А. Шомин. — Балаклея: Информационно-издательская компания «Балаклайщина», 2002. — 68 с.
3. Заворотний В. П. Внедрение когенерационной биогазовой установки на свиноферме в поселке Еленовка Днепропетровской области / Заворотний В. П., Копейкин К. А. и др. : [Электронный ресурс] / Режим доступа : koreykin@biomass. kiev. ua.
4. Круть О. А. Основні пріоритети державної політики в сфері енергоефективності / Круть О. А. // Енергоефективність крупного промисленного регіона : третя міжнар. науч. — практ. конф. : сб. науч. трудов. — Донецк: ВІК, 2008. — С. 6–17.
5. Матвеєв Ю. Біогазова станція. Український досвід / Матвеєв Ю., Гелетуха Г. // Зелена енергетика. — 2004. — № 1 (13). — С. 4–5.
6. Дудюк Д. Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії і задачі / Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. — Львів : «Магнолія—2006», 2008. — 188 с.
7. Яковенко А. В. Эффективность использования биогаза в фермерском хозяйстве / Яковенко А. В., Сербин В. А. // Екологічна безпека та природокористування. — К. : КНУБА, 2008. — Вип. 2. — С. 178–185.
8. Калюжная С. Н. Метантенк для сбраживания отходов животноводческих комплексов / Калюжная С. Н., Сербин В. А. : матеріали IV міжнар. наук. конф. молодих вчених, аспірантів, студентів. // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. — Макіївка : 2005. — Вип. 2005–4 (52). — С. 88–91.
9. Остапенко Д. В. Тепловые процессы в метантенке при сбраживании биомассы / Остапенко Д. В., Чеботарева О. В., Сербин В. А. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2007. — 6/5 (30). — С. 18–20.
10. Теплотехнические характеристики газов, жидкостей и строительных материалов: [справ. пособ. для теплотехнич. расчетов]. — Макеевка : ДонНАСА, 2007. — 50 с.
11. Краснощеков Е. А. Задачник по теплопередаче / Краснощеков Е. А., Сукомел А. С. — М. : Энергия, 1980. — 288 с.
12. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидравлические сопротивления : [справ. пособ.]. / Кутателадзе С. С. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 367 с.
13. Димніч А. Х. Теплопровідність : [навч. посібн.] / Димніч А. Х., Троянський О. А. — Донецьк : НОРД-ПРЕС, 2004. — 370 с.

Получено 08.09.2010

О. В. ЧЕБОТАРЬОВА, В. А. СЕРБІН, Н. В. КОЛОСОВА  
ТЕПЛООБМІН З НАВКОЛИШНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ МЕТАНТЕНКА ДЛЯ  
ЗБРАЖУВАННЯ БІОМАСИ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Запропонована методика визначення теплових витрат від метантенка в навколошнє середовище. Показана ефективність використання теплової ізоляції зовнішніх поверхонь метантенка для зменшення витрат теплоти.

**метантенк, теплова ізоляція, теплообмін**

O. V. CHEBOTARYOVA, V. A. SERBIN, N. V. KOLOSOVA  
HEAT EXCHANGE OF METHANE TANK WITH ENVIRONMENT FOR BIOMASS  
FERMENTATION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The determination procedure of thermal loss from methane tank into the environment has been proposed. The efficiency of the methane tank external surfaces thermal insulation for heat loss decrease has been demonstrated.

**methane tank, thermal insulation, heat exchange**

**Чеботарєва Ольга Володимирівна** — магістр, завідувач лабораторією кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсосбереження.

**Сербін Володимир Артемович** — к.т.н., доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсосбереження.

**Колосова Неллі Вадимівна** — студентка Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсосбереження.

**Чеботарєва Ольга Владимировна** — магистр, заведующая лабораторией кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергопресурсосбережение.

**Сербин Владимир Артемович** — к.т.н., доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергопресурсосбережение.

**Колосова Нелли Вадимовна** — студентка Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергопресурсосбережение.

**Chebotaryova Olga Vladimirovna** — an M. Ph. (Engineering), a laboratory manager of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

**Serbin Vladimir Artyomovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

**Kolosova Nelly Vadimovna** — an undergraduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

УДК 632.15

**А. С. ТОЛСТЫХ, И. Д. РОМАНЕНКО, Е. И. КОВАЛЕВА, Г. А. РОМАНЕНКО, К. А. ЖЕЛЕЗНЯК**  
Донецкий национальный университет экономики и торговли

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ ОКСИДОВ АЗОТА В ТАРЕЛЬЧАТОМ АБСОРБЕРЕ**

В статье рассмотрены особенности абсорбции смесиmonoоксида и диоксида азота в контактном аппарате с ситчатыми тарелками. Описана методика проведения эксперимента. Приведены сравнительные результаты опытов с различными исходными данными для разных конструкций аппарата.

**монооксид азота, диоксид азота, абсорбция, степень абсорбции, абсорбент, орошение, тарелка**

Выбросы оксидов азота в атмосферу до сих пор остаются одной из важнейших природоохранных проблем. Оксиды азота образуются в связи со сжиганием органического топлива в таких отраслях промышленности как энергетика, металлургия, машиностроение, химическая и нефтехимическая промышленность, автомобильный и железнодорожный транспорт и др.

За два последних десятилетия было установлено, что молекула NO обладает широким спектром биологического действия, которое условно можно разделить на регуляторное, защитное и вредное. NO, являясь одним из мессенджеров, участвует в регуляции систем внутри- и межклеточной сигнализации. Оксид азота, производимый клетками эндотелия сосудов, отвечает за расслабление гладких мышц сосудов и их расширение (вазодилатацию), предотвращает агрегацию тромбоцитов и адгезию нейрофилов к эндотелию, участвует в различных процессах в нервной, репродуктивной и иммунной системах. NO также обладает цитотоксическими и цитостатическими свойствами. С нарушением биосинтеза и метаболизма NO связаны такие заболевания, как эссенциальная артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда, первичная легочная гипертензия, бронхиальная астма, невротическая депрессия, эпилепсия, нейродегенеративные заболевания (болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона), сахарный диабет, импотенция и др.

К настоящему времени существует множество разнообразных способов борьбы с оксидами азота, но все они являются избирательно подходящими для каждого конкретного производства и случая. В своей «нише» представляет интерес жидкий абсорбционный метод обезвреживания  $NO_x$ . Процесс абсорбции оксидов азота в науке и на производстве изучен достаточно хорошо. Проблема состоит в том, что для различных характеристик выбросных газов должна разрабатываться своя технология проведения процесса абсорбции.

Во многих производствах в атмосферу выбрасывается не какой-то один оксид азота в частности (из восьми потенциальных), а смесь нескольких — как правило, это  $NO + NO_2$ . Причем, как известно,  $NO_2$  достаточно хорошо растворим в воде, а  $NO$  в жидкой фазе труднорастворим. Встает вопрос о переводе  $NO$  в  $NO_2$  для проведения качественного поглощения газовой смеси абсорбентом.

Для холодных нитрозных газов были проведены исследования абсорбции оксидов азота в тарельчатых контактных аппаратах.

Окисление  $NO$  в  $NO_2$  в основном протекает в жидкой фазе, что ускоряет переработку окислов азота в  $HNO_3$ . Предыдущие исследования показали, что в аппаратах с ситчатыми тарелками этот процесс протекает в несколько раз интенсивнее, чем в башнях с насадкой.

Нами выполнены теоретические расчеты, которые показали, что для достижения высоких степеней абсорбции окислов азота из газов, содержащих около 0,5 %  $NO + NO_2$ , необходима колонна с 15–18 провальными ситчатыми тарелками. Для проверки этого предположения и были поставлены настоящие опыты.

В эксперименте использовалась колонна диаметром 50 мм с 15 ситчатыми тарелками с перфорацией 4–7. Живое сечение равнялось 23,5 %, а толщина 5 мм.

© А. С. Толстых, И. Д. Романенко, Е. И. Ковалева, Г. А. Романенко, К. А. Железняк, 2010

Оксиды азота поглощались водой, которая через ротаметр подавалась на верхнюю часть тарелки. Опыты проводились при скорости газа в колонке, изменявшейся от 0,65 до 0,70 м/с. Температура газожидкостного слоя на тарелках равнялась 15–17 °С.

В зависимости от начальной нитрованности газа и уровня окисления  $NO$  степень абсорбции газа определялась по формуле:

$$z = \frac{C_h - C_k}{C_h} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $C_h$  и  $C_k$  — начальная и конечная концентрация оксидов азота, (об. %).

Чтобы оценить насколько  $NO$  окисляется до  $NO_2$ , также вычислялась теоретически возможная степень абсорбции  $NO_2$  водой

$$A = \frac{\frac{2}{C} C_{NO_2}}{C_h} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $C_{NO_2}$  — концентрация  $NO_2$  в исходном газе, (об. %).

Соотношение  $z/A$  показывает, какое количество окисленного в колоннеmonoоксида азота абсорбируется водой и конвертируется в  $HNO_3$ .

Влияние окисленности газа на степень абсорбции изучалась при плотности орошения равной  $L = 0,38 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ . Концентрация исходной газовой смеси колебалась в пределах 0,55–0,65 %  $NO + NO_2$ .

Степень окисленности  $NO$  изменялась от 0,34 до 0,72, при этом уровень абсорбции  $NO + NO_2$  при увеличении оксидации газа  $\alpha_h = \frac{NO_2}{NO + NO_2}$  растет. Для наших опытов она изменялась от 35 до 50 %.

С увеличением окисленности газа теоретическая степень поглощения  $A$  тоже растет, но в большей мере чем  $z$ . Поэтому величина  $z/A$  при этом уменьшается.

Если при окисленности  $\alpha_h = 0,34$  отношение  $z/A$  в среднем равно 140 %, то при  $\alpha_h = 0,7$  оно равно 106 %. Это указывает на то, что чем меньше окислен газ, тем в более высокой степени происходит переход  $NO$  в  $NO_2$  и тем большее количество конвертируется в азотную кислоту.

Однако не все количество диоксида азота, имевшегося в газе и вновь образовавшегося, успевает абсорбироваться водой. Об этом говорит степень окисления, выходящего из колонны газа — она по-прежнему достаточно высока и которая зависит от степени окисления исходного газа  $\alpha_h$ . Так, при  $\alpha_h \approx 0,6$  степень окисления  $NO$  в выходящем из колонны газе остается приблизительно постоянной ( $\alpha_h \approx 0,35$ –0,4). Затем  $\alpha_h$  начинает увеличиваться. При степени окисления исходного газа  $\alpha_h \approx 0,7$ , несмотря на большую степень поглощения  $NO_2$   $\alpha_h \approx \alpha_k$ . Исключительно в газовой фазе переход  $NO$  в  $NO_2$  за короткое время контакта перед аппаратом произойти не мог, следовательно, он достигается на развитой поверхности контакта фаз, т. е. в жидкости окисляется до 90–95 % от общего количества monoоксида азота. Эксперименты проводились при плотности орошения  $L = 1,86 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ч}$ . Оксисленность газа колебалась в пределах 0,59–0,65, из чего следует, что степень абсорбции оксидов азота, при изменении нитрозности газов от 0,17 до 0,30 %  $NO + NO_2$  увеличивается от 16 до 42 %.

С дальнейшим повышением концентрации оксидов азота в газе абсорбция увеличивается незначительно. И, наоборот — со снижением содержания  $NO + NO_2$ , наблюдается уменьшение степени абсорбции. Наблюдается следующая зависимость: при содержании в газе  $NO + NO_2$  до 0,3 % — ( $z/A < 100$  %), если же данная смесь выше 0,3 % отношение ( $z/A = 100$  и выше). В этом случае поглощается часть  $NO_2$ , образуемая при окислении  $NO$  в результате прохождения газа через колонну. Несмотря на то, что в колонне с провальными ситчатыми тарелками происходит турбулизация газожидкостной системы, способствующая окислению  $NO$  в  $NO_2$  — на 15 тарелках была получена степень абсорбции выше 50 %. Таким образом, с уменьшением концентрации окислов азота в исходном газе эффективность тарелки резко снижается.

Кроме поглощения оксидов азота водой были проведены исследования по щелочной абсорбции (в качестве абсорбента использовался водный раствор карбоната натрия). Эксперименты показали, что на эффективность процесса хемосорбции ( $NO + NO_2$ ) большое влияние имеет время приготовления раствора (так называемая «свежесть раствора»). Данный эффект очевидно объясняется тем, что в свежем растворе нет промежуточных соединений, тормозящих процесс абсорбции и, как следствие, снижается эффективность тарелки.

Для увеличения результативности работы аппарата орошающий раствор подавался одновременно на все тарелки посредством непровальных ситчатых тарелок с мелкими отверстиями. Как показали дальнейшие эксперименты, данная схема орошения дала позитивный результат, в связи с чем последующие опыты проводились на перекрестных тарелках с перфорацией 2–5 в колонке диаметром 45 мм. Скорость газа выдерживалась в пределах 0,735 м/с.

Анализы проводились как по газовой, так и по жидкой фазе, при этом баланс поглощения по газу и жидкости сходился в пределах погрешности.

Результаты опытов показаны в табл. 1. Там же для сравнения даны три опыта, полученные на 15 провальных ситчатых тарелках.

**Таблица 1** – Абсорбция оксидов азота в тарельчатом абсорбере

Вход газа		Выход газа		Степень абсорб. по рез. в газ. фазе $Z, \%$	Степень абсорб. по рез. в жидк. фазе $Z_1, \%$	Эффект очист. $\eta, \%$	Коэф. абсорб. $K$	Гидравл. сопр. $\Delta P, \text{мм в.ст.}$
NO + NO <sub>2</sub>	$\alpha_h$	NO + NO <sub>2</sub>	$\alpha_k$					
15 провальных тарелок 4–7								
0,64	0,47	0,35	0,35	45,8				
0,61	0,48	0,34	0,34	44,3	–	3,9	68	450
0,61	0,49	0,34	0,34	44,3				
5 перекрестных тарелок 2–5								
0,53	0,50	0,25	0,52	52,6				
0,46	0,56	0,29	0,38	38,1				
0,30	0,63	0,13	0,67	60,0	44,3	13,4	883	200
0,46	0,65	0,20	0,35	56,6				
0,54	0,65	0,25	0,50	58,6				
0,61	0,58	0,26	0,42	57,5				
0,59	0,61	0,24	0,37	59,4				
0,68	0,48	0,26	0,46	59,8				
0,26	0,50	0,27	0,48	51,8				
0,57	0,49	0,27	0,48	52,6	56,4	14,2	403	200
0,54	0,54	0,25	0,50	51,9				
0,58	0,50	0,26	0,54	51,0				

Из приведенных данных следует, что на пяти перекрестных тарелках была получена приблизительно такая же степень абсорбции оксидов азота, как и на 15 провальных ситчатых тарелках. Из сравнения этих данных видно, что коэффициент полезного действия перекрестных тарелок приблизительно в 3,5 раза, а коэффициент абсорбции 5,5–6,0 раз выше, чем у провальных тарелок.

Гидравлическое сопротивление одной провальной тарелки равнялось 30, а перекрестной тарелки – 40 мм вод. ст. Однако, как показано в таблице, перекрестные тарелки при орошении каждой из них свежей водой работают в несколько раз эффективнее. Следовательно, при достижении одинаковой степени абсорбции их потребуется в несколько раз меньше, что приведет к снижению сопротивления колонны в целом.

Из проведенных исследований надлежит сделать следующие основные выводы:

– степень абсорбции зависит от начальной нитрозности газа;

- при уменьшении окислов азота в исходном газе ниже 0,3 %  $\text{NO} + \text{NO}_2$  степень абсорбции резко снижается;
- наряду с поглощением окислов азота в колонне одновременно идет интенсивное окисление  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$ , которая протекает в основном в жидкой фазе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, Ф. А. Технология связанных азота / Андреев Ф. А., Каргин С. И., Козлов Л.И., Приставко В.Ф. — М. : Химия, 1966. — 500 с.
2. Горбис З. Р. Теплообмен и гидродинамика дисперсных сквозных потоков / Горбис З.Р. — М. : Энергия, 1970. — 424 с.
3. Iron and Steel Engineer. 2004, v. 51. — N 3.
4. Iron and Steel Engineer. 2006, v. 24. — N 7.
5. Stainless Steel Industry, 2006, v. 4. — N 17.

Получено 03.09.2010

А. С. ТОЛСТИХ, И. Д. РОМАНЕНКО, Е. И. КОВАЛЬОВА, Г. А. РОМАНЕНКО,  
К. О. ЖЕЛЕЗНЯК

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ В ТАРІЛЧАСТОМУ  
АБСОРБЕРІ

Донецький національний університет економіки і торгівлі

У статті розглянуті особливості абсорбції суміші моноксиду і діоксиду азоту в контактному апараті з ситчаторами тарілками. Описана методика проведення експерименту. Приведені порівняльні результати дослідів з різними початковими даними для різних конструкцій апарату.

**моноксид азоту, діоксид азоту, абсорбція, ступінь абсорбції, абсорбент, зрошування, тарілка**

A. S. TOLSTYKH, I. D. ROMANENKO, E. I. KOVALYOVА, G. A. ROMANENKO,  
K. A. ZHELEZNYAK

NITROGEN OXIDES ABSORPTION IN PLATE ABSORBER

Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade

The article has conducted peculiarities of absorption of nitrogen monooxide and dioxide mixture in a contact vehicle with sieve plates. The experimental technique has been described. The comparative results of the experiments with various input data for various unit structures have been cited.

**nitrogen monooxide, nitrogen dioxide, absorption, degree of absorption, absorbent, irrigation, plate**

**Толстих Андрій Станіславович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: очищення технологічних газів, які відходять, від пилу і хімічних шкідливостей.

**Романенко Іда Дмитрівна** — старший викладач кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: дослідження процесів гідродинаміки в екологічних розрахунках.

**Ковалєва Єлизавета Іванівна** — кандидат медичних наук, доцент кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: біологічні наслідки впливу екологічного становища на організм людини.

**Романенко Георгій Артурович** — студент Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: екологічний моніторинг.

**Железняк Кристина Олександровна** — студентка Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: екологічний моніторинг.

**Толстых Андрей Станиславович** — кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: очистка отходящих технологических газов от пыли и химических вредностей.

**Романенко Ида Дмитриевна** — старший преподаватель кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: исследование процессов гидродинамики в экологических расчетах.

**Ковалева Елизавета Ивановна** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: биологические последствия влияния экологической обстановки на организм человека.

**Романенко Георгий Артурович** — студент Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: экологический мониторинг.

**Железняк Кристина Александровна** — студентка Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: экологический мониторинг.

**Tolstykh Andrey Stanislavovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Ecology and Physics Department of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: off-gas purification from dust and harmful chemicals.

**Romanenko Ida Dmitrievna** — a senior lecturer of the Ecology and Physics Department of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: study of hydrodynamics in ecological calculations.

**Kovalyova Elizaveta Ivanovna** — a Ph. D. (Medicine), an Assistant Professor of the Ecology and Physics Department of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: biological consequences of the ecological situation effect to the human organism.

**Romanenko Georgiy Arturovich** — an undergraduate student of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: ecological monitoring.

**Zheleznyak Kristina Aleksandrovna** — an undergraduate student of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: ecological monitoring.

УДК 628.1

Л. Г. ЗАЙЧЕНКО, Ю. Г. АКУЛОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В СИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Определены основные факторы, которые влияют на техническое состояние водопроводной сети, рассмотрены составляющие технологических расходов и потерь воды из систем водоснабжения для двух категорий водопотребления. Выполнены расчеты технологического расхода питьевой воды для жилищно-эксплуатационного предприятия (ЖЭП), а также технологического расхода питьевой воды для наружных сетей водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) п.г.т. Мироновский. Рассмотрены мероприятия, направленные на уменьшение технологических расходов воды, на улучшение экономических показателей работы предприятий и снижение себестоимости продукции.

**водопроводная сеть, технологические расходы воды, жилищно-эксплуатационные предприятия, технологический норматив использования питьевой воды**

Инженерные системы городов играют значительную роль в формировании экономической и социальной жизни любого региона. Они во многом характеризуют степень благоустройства и уровень коммунального обслуживания населения. Важнейшей компонентой инженерных систем являются трубопроводы водоснабжения, которые должны бесперебойно подавать воду потребителям в требуемых количествах с необходимым напором.

Целью данной работы является исследование факторов, влияющих на показатели технологических расходов питьевой воды в системе коммунального хозяйства, которые направлены на оптимизацию работы внутреннего и наружного водоснабжения.

Основные составляющие технологических расходов и потерь воды из систем водоснабжения для двух категорий водопотребления различны [2–4].

*Из наружных сетей и сооружений*, которые включаются в лимиты забора воды из источников водоснабжения и соответствующим образом тарифицируются:

- технологические расходы при подъеме, очистке и транспортировании воды, включая технологические расходы во вспомогательных цехах предприятий;
- потери воды на очистных сооружениях водопровода;
- потери и неучтенные расходы воды из систем подачи и распределения воды;
- расходы воды на хозяйствственно-питьевые нужды работников водопроводно-канализационного хозяйства;
- расходы воды на поддержание территории зон санитарной охраны и сооружений в надлежащем санитарном состоянии.

*Из внутридомовых сетей и водозаборной арматуры* технологические расходы и потери оплачиваются потребителями или водоснабжающими предприятиями (иногда организациями, эксплуатирующими жилые здания):

- технологические расходы воды на промывку внутридомовых трубопроводов;
- технологические расходы на полив придомовой территории;
- технологические расходы на уборку мест общего пользования и придомовой территории;
- технологические расходы воды на хозяйствственные нужды (производственные мастерские, транспортные средства, дворовые туалеты и т. п.);
- потери воды при повреждении трубопроводов и опорожнении системы для ремонта;
- утечки из водоразборной арматуры;

© Л. Г. Зайченко, Ю. Г. Акулова, 2010

- неучтенные потери из-за недостаточной чувствительности квартирных водосчетчиков и ухудшения их метрологических характеристик;
- неучтенные потери воды на внутридомовое пожаротушение при наличии таких устройств в домах повышенной этажности.

Коллективом кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры ведутся работы по расчету технологических нормативов использования питьевой воды:

- 1) жилищно-эксплуатационными предприятиями и организациями;
- 2) предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства.

На примере п.г.т. Мироновский был выполнен расчет технологических расходов питьевой воды для жилищно-эксплуатационного предприятия (ЖЭП), а также расчет технологических расходов питьевой воды для наружных сетей водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ). Согласно технологии эксплуатации водопроводных сетей для ВКХ п.г.т. Мироновский вода расходуется на:

- сброс воды из трубопровода на ремонтном участке при аварии;
- хлорирование ремонтного участка сети после ремонта;
- промывку ремонтного участка после хлорирования;
- промывку водопроводной сети перед плановым хлорированием водопроводных сетей;
- приготовление хлорной воды при плановом хлорировании водопроводных сетей;
- промывку водопроводных сетей после хлорирования;
- технологические нужды на очистку сточных вод —  $3,6 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Для определения величины этой статьи расхода воды в качестве исходных данных были использованы отчетные данные технического отдела жилищно-эксплуатационного хозяйства п.г.т. Мироновский. Потребление воды на технологические нужды составило  $5921 \text{ м}^3/\text{год}$  или в среднем за сутки —  $16,2 \text{ м}^3$ , что составляет  $0,70 \%$  от общей подачи, в том числе: на технологический процесс —  $0,50 \%$ ; вспомогательные объекты —  $0,19 \%$ ; содержание санитарных зон —  $0,01 \%$ .

Эффективность работы систем водоснабжения в определенной степени зависит от потерь воды и неучтенных расходов, основными причинами которых являются [5]:

- устаревшее сантехническое оборудование;
- ветхие внутридомовые сети;
- несвоевременное техническое обслуживание внутридомовых систем водоснабжения;
- низкая культура водопользования.

Технологические расходы питьевой воды для жилищно-эксплуатационных предприятий определяются в соответствии с «Правилами содержания жилых домов и придомовых территорий», утвержденными приказом Государственного комитета Украины по вопросам ЖКХ. Методика разработки индивидуальных технологических нормативов использования питьевой воды (ИТНИПВ) для жилищно-эксплуатационного хозяйства устанавливает единый порядок расчета технологических расходов воды на содержание  $1 \text{ м}^2$  общей площади жилья. Методика разработана с целью обеспечения рационального использования питьевой воды на содержание домов, сооружений и придомовых территорий путем установления индивидуальных технологических нормативов использования питьевой воды жилищно-эксплуатационными предприятиями и организациями.

Индивидуальный технологический норматив использования питьевой воды жилищно-эксплуатационным предприятием на содержание  $1 \text{ м}^2$  общей площади жилья на протяжении года для п.г.т. Мироновский представлен в табл. 1.

Нормативный сброс сточных вод от технологического использования питьевой воды в канализацию —  $0,33 \text{ м}^3/\text{м}^2$ .

Технологический норматив использования питьевой воды определяется по формуле:

$$\text{ИТНИПВ} = Q_{\text{техн.}} + Q_{\text{н.о.}} + Q_{\text{т.п.}} + Q_{\text{упр.}} / F, \text{ м}^3 / \text{м}^2 \text{ за год},$$

где  $Q_{\text{техн.}}$  — нормативные технологические расходы воды,  $\text{м}^3$ ;

$Q_{\text{н.о.}}$  — норматив не учтенных расходов воды,  $\text{м}^3$ ;

$Q_{\text{т.п.}}$  — расходы воды на хозяйствственно-питьевые потребности работников ЖЭП,  $\text{м}^3$ ;

$Q_{\text{упр.}}$  — расход воды на поливку зеленых насаждений и уборку придомовой территории,  $\text{м}^3$ ;

$F$  — общая площадь квартир, которые обслуживаются ЖЭП,  $\text{м}^2$ .

Процент ИТНИПВ ЖЭП от общего водопотребления составил —  $29 \%$ .

**Таблица 1** – Индивидуальный технологический норматив использования питьевой воды

№ п/п	Составляющие ИТНИПВ	Расчетный норматив $\text{м}^3/\text{м}^2$ в год	Примеч. (попадает в канализацию $\text{м}^3/\text{м}^2$ в год)
1	Технологические расходы воды:	0,012	0,012
1.1	Ремонтные работы на внутридомовых трубопроводах	0,005	0,005
1.2	Промывка внутридомовых систем	0,0002	0,0002
1.3	Промывка водоочистных установок	–	–
1.4	Мойка мусорников и мусоропроводов	0,0003	0,0003
1.5	Влажная уборка мест общего пользования	0,001	нет
1.6	Промывка дворовых туалетов	–	–
1.7	Использование воды на вспомогательных объектах	0,005	0,005
1.8	Испытание систем противопожарного водопровода	0,0001	нет
2	Неучтенные расходы воды:	0,32	0,32
2.1	Недоучет квартирных счетчиков учета воды	0,2	0,2
2.2	Коммерческие потери	0,12	0,12
3	Расход воды на хозяйствственно-питьевые нужды работников	0,002	0,002
4	Расход воды на содержание придомовой территории	1,1	нет
4.1	Поливка зеленых насаждений и уборка придомовой территории	1,1	нет
	ВСЕГО:	1,4	0,33

Жители, имеющие квартирные счетчики воды, платят за воду по показателям своих водосчетчиков. А жители, не имеющие квартирных приборов учета воды, – по показателям счетчика, установленного в доме. Так, для всех квартир п.г.т. Мироновский с общей площадью 147 811,9  $\text{м}^2$ , которые обслуживаются ЖЭП, ежемесячно от показаний домовых средств учета воды вычитается ИТНИПВ ЖЭП в размере:  $216\ 841,3 / 12 = 18\ 070\ \text{м}^3$  воды.

Эта вода оплачивается ЖЭП по статье «вода на обслуживание дома» себестоимости содержания дома и придомовой территории.

Главной приоритетной задачей жилищно-коммунальной реформы есть повышение уровня качества обеспечения населения питьевой водой, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормам, а также рациональное использование водных ресурсов. Для решения этих задач необходима разработка и реализация мероприятий, которые обеспечивают повышение эффективности и надежности работы систем водоснабжения.

**Выводы.** Предложены мероприятия по оптимизации работы систем внутреннего и наружного водоснабжения, которые направлены на улучшение экономических показателей работы предприятий коммунального хозяйства и снижение себестоимости продукции:

- создание правовых и экономических условий, стимулирующих жилищные организации к приведению в порядок внутридомовых сетей;

- завершение создания служб единого заказчика с разделением функций исполнителя и поставщика услуг;
- утверждение инструкции по нормированию и определению потерь в многоэтажных домах;
- стимулирование экономической заинтересованности абонентов — жителей частного сектора, в установке приборов учета;
- оценка технического состояния отдельных участков водопроводной сети и технико-экономическое обоснование их замены или санации изношенных участков;
- организация работы с общественностью в целях повышения культуры водопотребления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко В. А. Основные подходы в решении проблем реформирования и развития предприятий водопроводно-канализационного хозяйства Украины / В. А. Кравченко // Водопостачання та водовідведення. — 2008. — № 1. — С. 25–39.
2. Маслак В. Н. Трубопроводы водоснабжения: вопросы проектирования, строительства и рациональной эксплуатации / Маслак В. Н., Зотов Н. И. — Донецк : «Вебер», 2007. — 462 с.
3. Методическое пособие по проведению учета и нормирования потерь воды / [сост. Маслак В. Н., Насонкина Н. Г.]. — Донецк: изд-во ДонНАСА, 2007. — 38 с.
4. Зайченко Л. Г. Анализ технологических потерь использования питьевой воды для городов Донецкой области / Зайченко Л. Г., Горшкова Л. В., Ганзель А.И. // Вода, экология, общество : III Междунар. науч. — практ. конф. — Харьков, 9–11 февраля 2010 : сб. науч. трудов. — Х. : ХНАГХ, — С. 157–159.
5. Душкин С. С. Научно-техническое обоснование норм горячего и холодного водопотребления населением г. Харькова / Душкин С. С. // Науч. Вестник строительства : сб. науч. трудов. — Х. : ХДТУБА, 2004. — Вып. 26.

Получено 24.09.2010

**Л. Г. ЗАЙЧЕНКО, Ю. Г. АКУЛОВА**  
**ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОКАЗНИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ**  
**ПИТНОЇ ВОДИ В СИСТЕМІ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА**  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Визначено основні фактори, що впливають на технічний стан водопровідної мережі, розглянуто складові технологічних витрат і втрат води з систем водопостачання для двох категорій водоспоживання. Виконано розрахунки технологічних витрат питної води для житлово-експлуатаційного підприємства (ЖЕП), а також технологічних витрат питної води для зовнішніх мереж водопровідно-каналізаційного господарства (ВКГ) с.м.т. Миронівський. Розглянуто заходи, що спрямовані на зменшення технологічних витрат води, на покращення економічних показників роботи підприємств та зниження собівартості продукції.  
**водопровідна мережа, технологічні витрати води, житлово-експлуатаційні підприємства, технологічний норматив використання питної води**

**L. G. ZAICHENKO, YU. G. AKULOVA**  
**AGENTS AFFECTING TECHNOLOGICAL CONSUMPTION INDICES OF**  
**DRINKING WATER IN MUNICIPAL SERVICES SYSTEM**  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The principle agents affecting engineering state of a water supply network have been determined, the components of technological consumptions and design flows of water from the water supply systems for two categories of water consumption have been considered. The calculations of drinking-water flow for house-maintenance establishment (HME) and also for the outer networks of water supply and sewerage facilities (WSSF) of a settlement Mironovsky have been done. Activities directed to the technological consumption of water, to the improvement of business operation economic indicators and cost reduction have been considered.

**water supply network, technological consumption of water, house-maintenance establishment, technological standard of drinking water consumption**

**Зайченко Людмила Геннадіївна** — к. т. н., доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: нові матеріали та сучасні технології при реконструкції споруд водопостачання та водовідведення.

**Акулова Юлія Геннадіївна** — асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: нові матеріали та сучасні технології при реконструкції споруд водопостачання та водовідведення.

**Зайченко Людмила Геннадиевна** — к. т. н., 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.

**Акулова Юлия Геннадиевна** — 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 Gennadiyevna** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Water Supply, Sewage and Storm Water Disposal and Water Resources Protection Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: the latest scientific materials and contemporary procedures and techniques at refurbishment of water supply and water disposal constructions.

**Akulova Yulia Gennadiyevna** — a teaching fellow of the Water Supply, Sewage and Water Disposal and Water Resources Protection Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: the latest scientific materials and contemporary procedures and techniques at refurbishment of water supply and water disposal constructions.

УДК 628.162

**Н. П. ОМЕЛЬЧЕНКО<sup>а</sup>, О. Г. МОКРЫЙ<sup>б</sup>**

<sup>а</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, <sup>б</sup>Донецкое региональное управление  
КП «Компания "Вода Донбасса"»

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ НА ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ВОДОПРОВОДАХ**

Рассмотрено предложение по использованию гипохлорита натрия вместо жидкого хлора при обеззараживании воды на трех водопроводных узлах Донецкого регионального управления КП «Компания "Вода Донбасса"». Внедрение гипохлорита натрия позволяет отказаться от организации строгих защитных зон, связанных с техногенной опасностью использования жидкого хлора, упрощает эксплуатацию установок для обеззараживания воды. Рассмотрены альтернативные способы обеззараживания и сделан вывод о рациональном использовании хлорирования. Проведены исследования свойств гипохлорита натрия, определена оптимальная доза реагента для дохлорирования воды. Разработана технология обработки питьевой воды товарным гипохлоритом натрия.

**обеззараживание питьевой воды, гипохлорит натрия, электролиз раствора поваренной соли, дохлорирование питьевой воды**

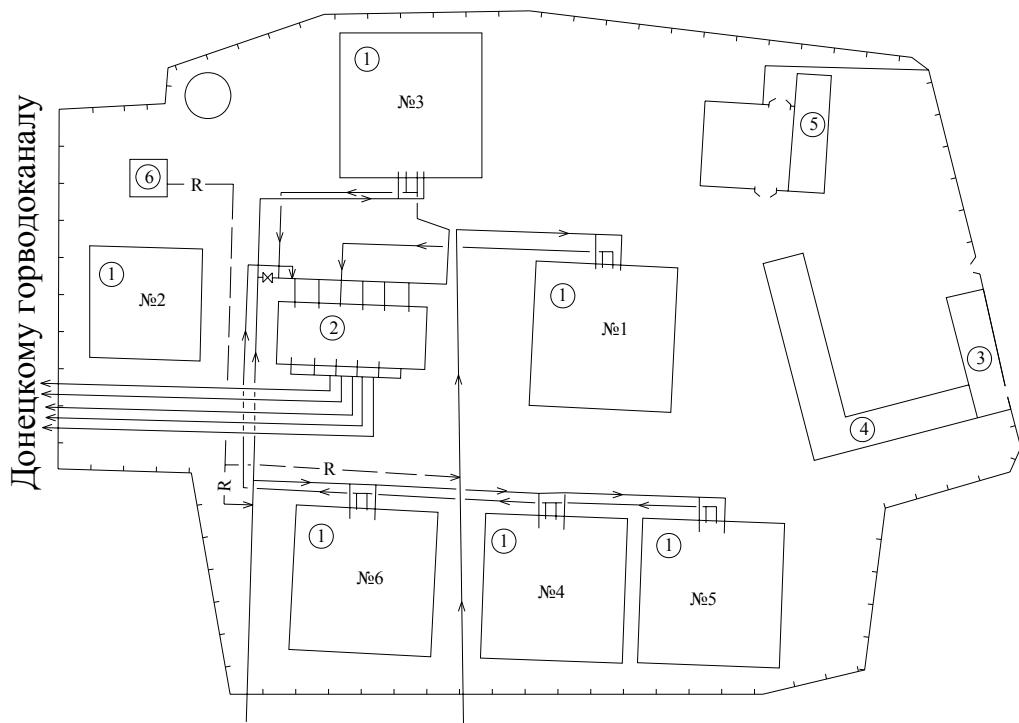
**Формулировка проблемы.** Самым распространенным методом обеззараживания питьевой воды в Украине и других постсоветских странах является хлорирование. При этом традиционно применяется товарный продукт — жидкий хлор, который испаряется, смешивается с чистой водой, образуя хлорную воду, которой и обеззараживается очищаемая вода. Жидкий хлор является опасным веществом, пары которого являются сильнодействующим отравляющим веществом. Поэтому действуют жесткие правила эксплуатации установок с применением жидкого хлора, в частности требуется создание защитных зон, квалифицированный персонал. В результате содержание объектов с хлором требует высоких затрат. Кроме того, такие объекты опасны при террористических действиях. В отдельных случаях — при малой производительности водопровода, невозможности устройства защитной зоны — целесообразно применение вместо жидкого хлора гипохлорита натрия. Этот химический реагент можно получать двумя путями — покупкой готового товарного продукта и приготовлением на месте использования электролизом раствора поваренной соли. Существует конкретная производственная проблема дохлорирования питьевой воды на Центральном водопроводном узле г. Донецка, расположенным в густонаселенном районе города.

**Анализ последних исследований и публикаций.** При подготовке питьевой воды в мировой практике применяется три основных метода: обработка окислителями (хлором), озонирование и облучение бактерицидными ультрафиолетовыми лучами [1, 2]. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Основными недостатками хлора являются: повышенные требования к перевозке и хранению, потенциальный риск здоровью в случае утечки, образование побочных продуктов дезинфекции — тригалометанов (ТГМ) [2]. Одной из серьезных проблем при озонировании воды является образование вредных побочных продуктов окисления, для удаления которых технологическая схема подготовки питьевой воды значительно усложняется (требуется устройство сорбционных фильтров) [3]. Обработка воды ультрафиолетовыми лучами имеет такой существенный недостаток, как отсутствие последействия, что не позволяет устранить возможное вторичное бактериальное загрязнение воды в изношенных водопроводных сетях [4]. Поэтому в отечественной и мировой практике ведется поиск альтернативных методов обеззараживания питьевой воды [5, 6].

**Цели.** Требуется разработать оптимальную технологию дополнительной обработки питьевой воды обеззараживающим агентом на Центральном водопроводном узле (ЦВУ) г. Донецка для повышения санитарной надежности водопровода.

### Основной материал.

Центральный водопроводный узел питает питьевой водой центральные районы г. Донецка, получая подготовленную воду с Верхне-Кальмиусской фильтровальной станции. Площадка ЦВУ территориально расположена в Киевском районе Донецка между улицами Артема и Челюскинцев и между проспектами Титова и Освобождения Донбасса, т. е. в самом центре Донецка среди плотной жилой застройки. Схема генплана ЦВУ представлена на рис. 1.



Водоводы от Верхне-Кальмиусской ФС

**Рисунок 1** – Схема генплана Центрального водопроводного узла: 1 – резервуары чистой воды, 2 – насосная станция «Центральная», 3 – административный корпус, 4 – гаражи, 5 – мастерские, 6 – станция гипохлорита натрия (бывшая камера переключения), R – линия раствора гипохлорита натрия.

Основными объектами узла являются 6 резервуаров емкостью 10 000 м<sup>3</sup> каждый. В центре площадки между резервуарами расположена насосная станция, подающая воду непосредственно Донецкому горводоканалу и на Куйбышевский водопроводный узел. Кроме того на площадке расположен административный комплекс Донецкого регионального управления КП «Компания "Вода Донбасса"», гаражи, мастерские и некоторые другие здания вспомогательного назначения.

Вода от Верхне-Кальмиусской фильтровальной станции поступает по двум стальным водоводам диаметром 1 000 мм и распределяется по РЧВ. Всасывающие линии связывают все резервуары с насосной станцией.

Общая суточная производительность ЦВУ достигает 90 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

Из-за большого расстояния транспортировки воды от фильтровальной станции до водопроводного узла (около 13 км) концентрация активного хлора в воде после насосной станции в отдельные периоды года (летом) понижается до 0,2 мг/л. По этой причине возникла необходимость дохлорировать подаваемую ЦВУ потребителям питьевую воду с тем, чтобы обеспечить нормативную концентрацию активного хлора в воде (0,3–0,5 мг/л), гарантирующую надежное обеззараживание воды.

Так как вышеописанное расположение ЦВУ не позволяет устроить хлораторную с использованием жидкого хлора, для дохлорирования рекомендуется использовать гипохлорит натрия (ГХН).

В Донецком региональном управлении КП «Компания "Вода Донбасса"» уже наработан опыт обеззараживания питьевой воды гипохлоритом натрия (ГХН) – в 2009 году этот реагент внедрен на малых водопроводных узлах п.г.т. Старобешево и города Комсомольское. Здесь применяется раствор ГХН марки «А» производства ОАО «ДнепрАЗот» (г. Днепродзержинск) по ГОСТ 11086-76.

Схема приготовления и дозирования ГХН Старобешевского узла включает два растворно-расходных бака из пластмассы полезным объёмом 100 дм<sup>3</sup> и два мембранных насоса-дозатора DMS 12–3. Насосы вводят раствор ГХН требуемой дозы с концентрацией 5 % в резервуары чистой воды.

Опыт, приобретенный при использовании ГХН на водопроводных узлах пгт Старобешево и г. Комсомольское, позволяет по аналогичной технологии дохлорировать воду на ЦВУ.

На первом этапе потребовалось изучение свойств гипохлорита натрия. Вначале изучалась зависимость растворимости гипохлорита натрия NaClO от температуры и плотности раствора реагента при разной концентрации активного хлора.

В опытах использовались стандартные методики определения массовой доли хлора и гипохлорита натрия в растворе, технический термометр с ценой деления 1 градус и диапазоном измерения температур от –50 до + 50 °С, ареометры с ценой деления 10 г/л плотности.

Результаты измерения растворимости приведены в табл. 1.

Как следует из таблицы, эксплуатационные температуры обеспечивают достаточные концентрации хлора в растворе ГХН.

**Таблица 1 – Растворимость концентрированных растворов ГХН**

Концентрация хлора в растворе ГХН, г/дм <sup>3</sup>	Плотность раствора ГХН, г/дм <sup>3</sup>	Массовая доля хлора в растворе, %	Массовая доля NaClO в растворе, %	Предельная минимальная температура растворения, °С
190	1260	14,9	31,3	14,0
170	1240	13,7	28,7	12,0
155,3	1215	12,68	27,0	10,0
150	1210	12,6	26,5	9,0
137	1181	11,67	25,0	5,0
120	1170	10,1	21,2	–3,0
100	1150	8,62	17,24	
70	1110	6,95	13,9	
50	1080	4,4	8,8	

Практика показывает, что для обработки воды ГХН целесообразно применять разбавленные растворы с концентрацией 5–12 % по хлору. Применение разбавленных растворов обеспечивает их устойчивость. Так, растворы NaClO, содержащие 250 г/дм<sup>3</sup> хлора, утрачивают при комнатной температуре половину активного хлора за 5 месяцев, содержащие 100 г/дм<sup>3</sup> активного хлора – за 7 месяцев, содержание 50 г/дм<sup>3</sup> активного хлора – за 2 года, содержание 25 г/дм<sup>3</sup> активного хлора – за 5–6 лет.

При приготовлении рабочих растворов ГХН необходимо, чтобы его концентрация не превышала предела растворимости при данной температуре (табл. 1). Превышение предела растворимости приводит к образованию суспензий, состоящих из NaClO и NaClO·5H<sub>2</sub>O. NaClO·5H<sub>2</sub>O выделяется из растворов в виде кристаллов. Это снижает концентрацию рабочего раствора, точность дозировки ГХН в воду и может привести к кольматации головки насоса-дозатора, напорного и всасывающего трубопроводов.

Для упрощенного и оперативного определения концентрации активного хлора в растворе ГХН установлена ее зависимость от плотности раствора.

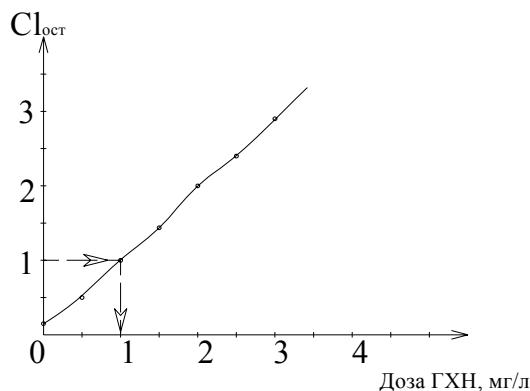
Для определения оптимальной дозы гипохлорита натрия для дохлорирования воды использовалась стандартная методика пробного хлорирования.

Результаты опытов, проведенных на воде, поступающей на Центральный водопроводный узел, приведены в табл. 2 и на графике (рис. 2).

По результатам лабораторных исследований обеззараживания воды на Центральном водопроводном узле г. Донецка гипохлоритом натрия определена его оптимальная доза, которая составляет величину 1,0 мг/л. Опыт использования ГХН на водопроводных узлах показал, что этот реагент оказывает на воду положительное консервирующее действие.

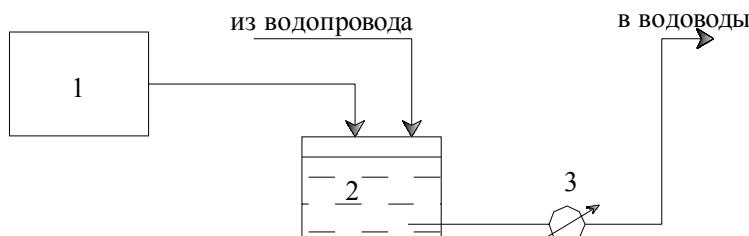
**Таблица 2** – Результаты пробного хлорирования воды на Центральном водопроводном узле

Доза хлора, мг/л	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3	7	10
Концентрация остаточного хлора, мг/л	1 серия	0	0,2	1,0	1,15	2,4	2,8	5,7
	2 серия	0	0,2	0,8	1,05	2,3	2,7	5,6
	3 серия	0	0,15	0,85	1,0	2,2	2,45	5,2
								6,8

**Рисунок 2** – Кривая хлоропоглощения для воды Центрального водопроводного узла.

По результатам исследований разработана технология и выполнены расчеты оборудования для дохлорирования воды на ЦВУ товарным гипохлоритом натрия, поставляемым ОАО «ДнепроАЗОТ».

Предлагаемая технологическая схема представлена на рис. 3.

**Рисунок 3** – Схема дохлорирования воды на ЦВУ6: 1 – склад товарного гипохлорита натрия; 2 – расходный бак гипохлорита натрия; 3 – насос-дозатор.

Хозяйство гипохлорита натрия рекомендуется расположить в недействующей камере переключения, которая представляет собой отдельно стоящее здание размерами в осях 12×12 м высотой 7,8 м, разбитое на 2 уровня (позиция 6 на рис. 1). Нижний уровень насыщен старыми трубопроводами и его нежелательно использовать.

Рекомендуется устроить самотечное движение концентрированного гипохлорита натрия, поэтому контейнер ГХН, из которого отбирается раствор, располагается на площадке, поднятой над уровнем пола на 1 м, а расходные баки и дозаторы размещаются на уровне пола. Согласно технологических расчетов потребуется помещение склада на 5 контейнеров, два расходных бака гипохлорита натрия емкостью 1 000 л, два насоса-дозатора производительностью 60 л/час.

Ввод раствора ГХН в обрабатываемую воду рекомендуется производить с помощью врезки в напорные водоводы от Верхне-Кальмиусской ФС, с тем, чтобы контакт обеззараживающего реагента с водой произошел в резервуарах чистой воды (см. рис. 1).

Для использования помещения камеры переключения по новому назначению требуется произвести его ремонт: выполнить отделочные работы, обеспечить искусственное освещение рабочих мест. Следует также подвести линию водопровода для разбавления ГХН до требуемой концентрации.

Кроме того, следует оборудовать портал для приема контейнеров с ГХН и установить грузоподъемное оборудование (тельфер грузоподъемностью 1,5 тонны). Здание также необходимо оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей 12-кратный обмен воздуха в час.

На верхнем уровне оборудуется лаборатория для контроля качества поставляемого гипохлорита натрия и его вводимой дозы (остаточного хлора в дохлорированной воде).

Транспортировка ГХН от производителя до места использования может осуществляться в гуммированных или полиэтиленовых бочках емкостью 50–200 дм<sup>3</sup>, или в контейнерах емкостью до 1 000 дм<sup>3</sup>. Транспортировку рекомендуется осуществлять автомобильным транспортом в соответствии с правилами перевозки опасных грузов.

Разработаны требования техники безопасности при обращении с ГХН, который является окислителем, вызывающим раздражение кожных покровов и слизистых оболочек.

Одной из главных причин, обусловивших выбор именно товарного гипохлорита натрия, были размеры капитальных и эксплуатационных затрат. В будущем при наличии централизованных финансовых средств для инвестиций и улучшении финансового положения Донецкого районного управления целесообразно использовать гипохлорит натрия собственного производства на электролизерах раствора поваренной соли.

**Выводы.** Анализ литературных источников по проблеме обеззараживания питьевой воды показал, что традиционный способ хлорирования воды пока остается эффективным, надежным и недорогим решением. Обзор технологий обеззараживания, применяемых на фильтровальных станциях и водопроводных узлах КП «Компания "Вода Донбасса"», свидетельствует о начале широкого внедрения гипохлорита натрия (ГХН). Оптимальным для дохлорирования воды на Центральном водопроводном узле (ЦВУ) г. Донецка, расположенным в центре города среди городской застройки, является использование товарного гипохлорита натрия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахир В. М. Дезинфекция питьевой воды: анализ и перспективы / Бахир В. М. // Питьевая вода. – 2007. – № 3. – С. 11–19.
2. Бахир В. М. Дезинфекция питьевой воды: проблемы и решения / Бахир В. М. // Вода и экология. – 2003. – № 1. – С. 33–39.
3. Алексеева Л. П. Озонирование в технологии очистки природных вод / Алексеева Л. П., Драгинский В. Л. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 4. – С. 2–30.
4. Применение технологии УФ-облучения воды взамен первичного хлорирования / Альшин В. М., Безделин С. М., Волков С. В. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – № 12. – С. 13–16.
5. Новые технологии и оборудование для дезинфекции воды – альтернатива хлору / Селезнев Г. М., Лыков С. М., Бураков Ю. В. // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 2. – С. 64–66.
6. Jim Barlow. Byproduct of water disinfection progress / Jim Barlow // Medical News Today. – 2007. – Sep 15.

Получено 17.09.2010

М. П. ОМЕЛЬЧЕНКО<sup>a</sup>, О. Г. МОКРИЙ<sup>b</sup>  
ВИКОРИСТАННЯ ГІПОХЛОРІТУ НАТРИЮ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ НА  
ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ВОДОПРОВОДАХ

<sup>a</sup>Донбаська національна академія будівництва і архітектури, <sup>b</sup>Донецьке регіональне управління КП «Компанія "Вода Донбасу"»

Розглянута пропозиція з використання гіпохлориту натрію замість рідкого хлору при знезараженні води на трьох водопровідних узлах Донецького регіонального управління КП «Компанія "Вода Донбасу"». Впровадження гіпохлориту натрію дозволяє відмовитися від організації суворих захисних зон, пов'язаних з техногенною небезпекою використання рідкого хлору, спрощує експлуатацію установок для знезараження води. Розглянуті альтернативні способи знезараження і зроблені висновок про раціональне використання хлорування. Проведені дослідження властивостей гіпохлориту натрію, визначена оптимальна доза реагенту для дохлорування води. Розроблена технологія обробки питної води товарним гіпохлоритом натрію.

**знезараження питної води, гіпохлорит натрію, електроліз розчину куховарської солі, дохлорування питної води**

M. P. OMELTCHENKO<sup>a</sup>, O. G. MOKRY<sup>b</sup>  
SODIUM HYPOCHLORITE APPLICATION TO DISINFECT WATER IN  
CENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEMS

<sup>a</sup>Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>b</sup>Donetsk Regional Management of Commercial Undertaking «Donbas Waters Co»

The proposal on sodium hypochlorite application instead of liquid chlorine to disinfect water at 3 groups of standpipes of regional water supply system of the Commercial Undertaking «Donbas Waters Co» has been evaluated. The adoption of sodium hypochlorite enables to refuse of the rigid protection zones arrangement connected with technogenetic danger of liquid chlorine application, simplifies plants maintenance to disinfect water. The alternative disinfection methods have been considered and the conclusion of rational chlorination application has been made. The sodium hypochlorite properties have been investigated and an optimum dose of the reactant for extra chlorination of drinking water has been determined. The drinking water treatment process with the commercial sodium hypochlorite has been worked out.

**disinfection of drinking water, sodium hypochlorite, electrolysis of table salt solution, extra chlorination of drinking water**

**Омельченко Микола Павлович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Водопостачання, водовідведення і охорона водних ресурсів» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: технології освітлення природних і промислових стічних вод

**Мокрый Олег Георгийович** — магістр, директор Донецького регіонального управління КП «Компанія "Вода Донбасу"». Наукові інтереси: системи водопостачання і водовідведення населених пунктів.

**Омельченко Николай Павлович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: технологии очистки природных и промышленных сточных вод.

**Мокрый Олег Георгиевич** — магистр, директор Донецкого регионального управления КП «Компания "Вода Донбасса"». Научные интересы: системы водоснабжения и водоотведения населенных мест.

**Omeltchenko Nikolay Pavlovich** — a Ph.D. (Engineering), an Assistant Professor of the Water Supply, Sewage and Water Disposal and Water Resources Protection Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: processes of natural water purification and industrial waste water treatment.

**Mokry Oleg Georgievich** — an M. Ph. (Engineering), an executive officer of the Donetsk Regional Management of the Commercial Undertaking «Donbas Waters Co». Research interests: water supply and sewage and storm water disposal systems of populated areas.

УДК 628.1-192; 62-192; 628-16

А. Я. НАЙМАНОВ, Ю. В. ГОСТЕВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

В статье рассмотрены нормативы качества функционирования систем водоснабжения, приведены требования по количественным и качественным показателям услуг по водоснабжению и канализации. Представлены расчеты по определению нормативных величин коэффициентов готовности системы водоснабжения и ее элементов, интенсивности отказов, интенсивности восстановления и вероятности безотказной работы. Приведены вычисления нормативных значений коэффициентов готовности участков водопроводной и канализационной сети.

**надёжность, нормативы качества функционирования, коэффициент надёжности, нормативный коэффициент готовности, нормативная средняя наработка на отказ, вероятность безотказной работы**

**Актуальность работы.** В действующих нормативных документах по проектированию СНиП 2. 04.02–84 [1] и СНиП 2.04.03–85 [2] отсутствуют прямые нормативы надежности систем. Поскольку коммунальные системы являются восстанавливаемыми, то в соответствие с ДСТУ 2862–94 [3] и ГОСТ 27.003–90 [4] следовало бы ожидать задания нормативных величин коэффициента готовности, либо среднего времени безотказной работы и среднего времени восстановления.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В СНиП 2.04.02–84 [1] п. 4. 4 нормирована продолжительность сокращенной подачи или полного прекращения подачи воды для трех категорий систем водоснабжения. Эти требования можно считать аналогами качества функционирования (табл. 1).

Таблица 1 – Нормативы качества функционирования систем водоснабжения (по СНиП 2.04.02-84 [1])

Наименование нормативов	Величины нормативов для категорий систем водоснабжения		
	I	II	III
1. Численность населения, соответствующая категории, чел	более 50 тыс.	5-50 тыс.	до 5 тыс.
2. Продолжительность допускаемого нормами 30-процентного сокращения расчетной подачи воды, $T_{сниж.}$ , сут	до 3	до 10	до 15
3. Продолжительность полного прекращения подачи воды или снижения подачи воды более чем на 30 %, $T_{пер}$	до 10 мин	до 6 часов	до 24 часов

Что касается показателей качества воды, то отклонение их от требований ДержСанПіН «Вода питна...» [5] не допускается. В СНиП 2.04.03–85 [2] нет никаких требований в отношении надежности и качества функционирования систем канализации.

Кроме этого, требования по бесперебойности приведены в таком документе Украины, как «Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення...» [6]. В приложении к постановлению приведена таблица с требованиями количественных и качественных показателей услуг, фрагмент которой приведен ниже (табл. 2).

**Таблица 2** – Требования по количественным и качественным показателям услуг и уменьшения платы в случае их отключения

Вид услуги	Количественные и качественные показатели	Отклонение показателей	Допустимый срок отклонения показателей	Уменьшение платы за услуги в случае превышения срока отклонения	Расчетная единица	
					При наличии приборов учета	При отсутствии приборов в учете
Централизованная подача холодной воды	Бесперебойно или по утвержденному режиму оказания услуг в течение года	Перерывы в подаче воды или нарушения режима подачи воды	Не более 6 часов в сутки при круглосуточном водоснабжении и не более 30 % общего времени подачи воды по утвержденному режиму (не более 2-х раз в месяц)	На 3,3 % месячной платы за каждый день превышения установленного срока отклонения	По показаниям приборов учета	С 1-го жильца в месяц
Водоотведение	Бесперебойное водоотведение в течение года	Перерывы в водоотведении	Один день в месяц (от 6 до 24 часов)	На 3,3 % месячной платы за каждый день превышения допустимого срока отклонения	По показаниям приборов в учета	С 1-го жителя в месяц

**Основной материал.** Данные таблиц 1 и 2 можно использовать для определения нормативных величин коэффициентов готовности системы водоснабжения и ее элементов. При этом нормативы таблицы 1 относятся ко всей системе водоснабжения, а таблицы 2 – к участку водопроводной или канализационной сети. Кроме того, для трубопроводов водоснабжения в п. 8.22 СНиП 2.04.02–84 [1] при расчетах прочности установлены коэффициенты надежности  $\gamma_n$  в следующих пределах:

для трубопроводов 1 класса (I категории) –  $\gamma_n = 1,00$ ;

2 класса (II категории) –  $\gamma_n = 0,95$ ;

3 класса (III категории) –  $\gamma_n = 0,90$ .

Нормативную величину коэффициента готовности системы водоснабжения легко вычислить с помощью выражения (1) и требований таблицы 1

$$K_e = R_{cucm} = \frac{Q_{pacu} - \Delta Q_x}{Q_{pacu}} = 1 - \frac{\Delta Q_x}{Q_{pacu}}, \quad (1)$$

где  $R_{cucm}$  – показатель надежности системы, который соответствует коэффициенту готовности системы;

$Q_{pacu}$  – расчетный расход подаваемого продукта (воды), который должна подавать система в исправном состоянии;

$\Delta Q_x$  – недоподача продукта потребителям из-за отказа части системы при ее состоянии  $X(t)$ .

Недоподача воды  $\Delta Q_x$  возникает из-за перерывов в подаче воды  $T_{nep}$ , или снижения фактического расхода воды на время  $T_{ch}$  по сравнению с расчетным расходом воды  $Q_{pacu}$ . Нормы водопотребления и расчетные расходы воды согласно п. 2.1, 2.2 и 2.10 СНиП 2.04.02-84 [1] следует определять за год. Отсюда следует предположить, что требования данного СНиП по нормативам качества функционирования обеспеченности подачи воды, приведенные выше в таблице 1, могут быть отнесены к

1 году работы системы (расчетный период). Хотя следует также отметить, что подобные требования обычно относят к расчетному сроку службы системы. Но разные элементы системы водоснабжения имеют разные расчетные сроки службы: поверхностные водозаборы – 50 лет, подземные водозаборы – 25 лет, очистные сооружения – 50 лет, насосы – 8 лет, стальные водопроводные сети – 25 лет, пластмассовые сети – 50 лет, чугунные сети – 60 лет. Это затрудняет определение нормативного коэффициента готовности системы водоснабжения. Поэтому отнесение требований обеспеченности подачи воды к 1 году работы системы можно считать оправданным. Тогда, следует предположить, что расчетный годовой расход воды  $Q_{расч}$  и недоподача воды  $\Delta Q_x$  определяются выражениями (2) и (3):

$$Q_{расч} = Q_{час} \cdot 8760, \quad (2)$$

$$\Delta Q_x = Q_{час} \cdot T_{неп} + Q_{час} \cdot 0,3 \cdot T_{чн}, \quad (3)$$

здесь 8760 – число часов в 1 году;

0,3 – коэффициент, учитывающий снижение расчетного расхода на 30 %.

Нормативная величина коэффициента готовности системы водоснабжения вычисляется по формуле (4):

$$K_{e(норм)} = 1 - \frac{Q_{час} \cdot T_{неп} + Q_{час} \cdot 0,3 \cdot T_{чн}}{Q_{час} \cdot 8760} = 1 - \frac{T_{неп} + 0,3 \cdot T_{чн}}{8760}. \quad (4)$$

Величины  $T_{неп}$  и  $T_{чн}$  принимаются по таблице 1; полученные значения нормативных коэффициентов готовности сводим в таблицу 3.

В выражении (4) сумма  $(T_{неп} + 0,3 \cdot T_{чн})$  представляет собой аналог среднего времени неготовности (восстановления)  $T_B$ . Разница же между числом часов в году и средним временем восстановления представляет собой среднюю наработку на отказ  $T_0$ . Вычисленные величины нормативного коэффициента готовности  $K_{e(норм)}$ , средней наработки на отказ  $T_0$  и среднего времени восстановления  $T_B$  для разных категорий систем водоснабжения сведены в таблицу 3.

**Таблица 3** – Величины нормативных коэффициентов готовности, средние наработки на отказ и средние длительности восстановления для водопроводов разных категорий для расчетного периода 1 год

Категории водопроводов	Нормативный коэффициент готовности, $K_{e(норм)}$	Средняя наработка на отказ $T_0$ , час	Среднее время восстановления $T_B$ , час
I	0,997515	8738,233	21,767
II	0,991096	8682,0	78,0
III	0,984932	8628,0	132,0

Отметим, что коэффициенты готовности получились весьма высокими, значительно больше, чем 0,95.

Зная  $T_0$  и  $T_B$ , легко можно найти интенсивность отказов  $\lambda = \frac{1}{T_0}$  и интенсивность восстановления  $\mu = \frac{1}{T_B}$  и далее вероятность безотказной работы  $P = e^{-t/T_0}$ . Отметим, что  $P$  будет близко к 0,368 ( $P \approx e^{-1}$ ), поскольку время  $t$  близко наработке на отказ  $T_0$ . Это значит, что межремонтный период в системах водоснабжения должен быть значительно меньше 1 года для достижения высоких величин вероятности безотказной работы. Впрочем, вероятность безотказной работы является вспомогательным параметром; нормируемым для восстанавливаемых систем является коэффициент готовности. Величина этого коэффициента для составляющих систему последовательно соединенных элементов – водозаборов, насосных станций, водоводов, сетей и очистных сооружений должна быть еще выше, чем в таблице 3. Однако нормы СНиП 2.04.02–84 [1] требуют, чтобы каждый вид сооружений – водозаборы, насосные станции и т. д. соответствовал требованиям к категориям водопроводов. Отсюда следует, что нормативы таблицы 3 следует относить и к отдельным видам сооружений.

Системы канализации (водоотведения) жестко сцеплены с системами водоснабжения. При отказе одной системы наступает зависимый отказ другой системы. Поэтому, все требования к водопрово-

дам должны быть перенесены и на канализацию. Если в городе существует система водоснабжения I категории, то система канализации должна отвечать требованиям к водопроводу I категории. Таким образом, системы канализации также должны подразделяться на три категории, как и водопроводы. Категории обеих систем на одном объекте должны быть одинаковы и одинаковы нормативные коэффициенты готовности.

Требования по качеству оказания услуг потребителям, приведенные в таблице 2, позволяют вычислить нормативные значения коэффициентов готовности участков водопроводной и канализационной сети, к которым присоединен потребитель. Для вычислений используем формулу (1). Число часов перерывов в оказании услуг за 1 год для водопровода принимаем 144, а для канализации – 288. Получаем нормативные коэффициенты готовности для участков:

- водопроводной сети  $K_{e(\text{норм})}^{\text{уч.вод.}} = 0,983562$ ;
- канализационной сети  $K_{e(\text{норм})}^{\text{уч.кан.}} = 0,967123$ .

Эти коэффициенты могут применяться для участков сетей независимо от категории систем водоснабжения и водоотведения.

Для систем промышленного водоснабжения и водоотведения нормативы надежности устанавливаются ведомственными нормативными документами.

**Выводы.** Таким образом, полученные значения коэффициентов готовности, средней наработки на отказ и среднего времени восстановления для водопроводов всех трех категорий, рекомендуются для использования их в качестве нормативных значений показателей надежности объектов водоснабжения и канализации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : СНиП 2.04.02 84. – [Действует с 1985–01–01 ]. – М. : Стройиздат, 1985. – 136 с. (Строительные нормы и правила).
2. Канализация. Наружные сети и сооружения : СНиП 2.04.03–85. – [Действует с 1970–01–01]. – М. : Стройиздат, 1986. – 74 с. (Строительные нормы и правила).
3. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги : ДСТУ 2862–94. – [Чинний від 1997–01–01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 38 с. (Національний стандарт України).
4. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности : ГОСТ 27.003.90. – [Действует с 1992–01–01]. – М. : Стройиздат, 1992. – 74 с. (Государственный стандарт СССР).
5. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання : ДСанПін. – [Чинний від 1996–12–23]. – К. : МОЗ України. – 1996. – 21 с. (Державні правила і санітарні норми України).
6. Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення / із змінами / Затверджені Постановою КМУ № 630 від 21. 07. 2005 р., м. Київ.

Получено 1.09.2010

А. Я. НАЙМАНОВ, Ю. В. ГОСТЕВА  
ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ФУНКЦІОNUВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ І  
КАНАЛІЗАЦІЇ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглянуті нормативи якості функціонування систем водопостачання, наведені вимоги за кількісними та якісними показниками послуг з водопостачання та каналізації. Представлені розрахунки за визначенням нормативних величин коефіцієнтів готовності системи водопостачання та її елементів, інтенсивності відмов, інтенсивності відновлення та ймовірності безвідмовної роботи. Наведено обчислення нормативних значень коефіцієнтів готовності ділянок водопровідної і каналізаційної мережі.

**надійність, нормативи якості функціонування, коефіцієнт надійності, нормативний коефіцієнт готовності, нормативне середнє напрацювання на відмову, імовірність безвідмовної роботи**

A. YA. NAIMANOV, YU. V. GOSTEVA

QUALITY INDICES OF WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEMS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The article has considered the quality standards water supply systems functioning. The requirements on quantity and quality indices of services on water supply and sewerage have been cited. The calculations on determination of standard values of availability factors of the water supply system and its components, withdrawal intensity, restoration intensity of renewal and probability of no-failure operation have been offered. The standard value calculations of availability factors of water supply and sewerage systems plots have been cited.

**reliability, quality standards of functioning, reliability factor, standard availability factor, standard average time between failures, probability of no-failure operation**

**Найманов Аубекір Ягопірович** — доктор технічних наук, професор кафедри «Міське будівництво і господарство»; Донбаська національна академія будівництва і архітектури, інститут міського господарства та охорони навколошнього середовища, кафедра «Міське будівництво і господарство». Наукові інтереси: водопостачання, очищення води, методи підвищення надійності мереж водопостачання та каналізації.

**Гостєва Юлія Володимирівна** — аспірант кафедри «Міське будівництво і господарство»; Донбаська національна академія будівництва і архітектури, інститут міського господарства та охорони навколошнього середовища, кафедра «Міське будівництво і господарство». Наукові інтереси: водопостачання, очищення води, методи підвищення надійності мереж водопостачання та каналізації.

**Найманов Аубекир Ягопирович** — доктор технических наук, профессор кафедры «Городское строительство и хозяйство»; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, институт городского хозяйства и охраны окружающей среды, кафедра «Городское строительство и хозяйство». Научные интересы: водоснабжение, очистка воды, методы повышения надежности сетей водоснабжения и канализации.

**Гостева Юлия Владимировна** — аспирант кафедры «Городское строительство и хозяйство»; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, институт городского хозяйства и охраны окружающей среды, кафедра «Городское строительство и хозяйство». Научные интересы: водоснабжение, очистка воды, методы повышения надежности сетей водоснабжения и канализации.

**Naymanov Aubekir Yagopirovich** — a Dr. Sc. (Engineering), a Professor of the Municipal Civil Engineering and Economy Department, a manager of the Municipal Economy and Environmental Protection Institution of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: water supply, water treatment, methods of reliability enhancement of water supply and sewerage systems.

**Gosteva Yuliya Vladimirovna** — a postgraduate of the Municipal Civil Engineering and Economy Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: water supply, water treatment, methods of reliability enhancement of water supply and sewerage systems.

УДК 697.34:628.511

**А. А. ОЛЕКСЮК, А. А. ГОРДЕЛЮК, Н. А. МАКСИМОВА**  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

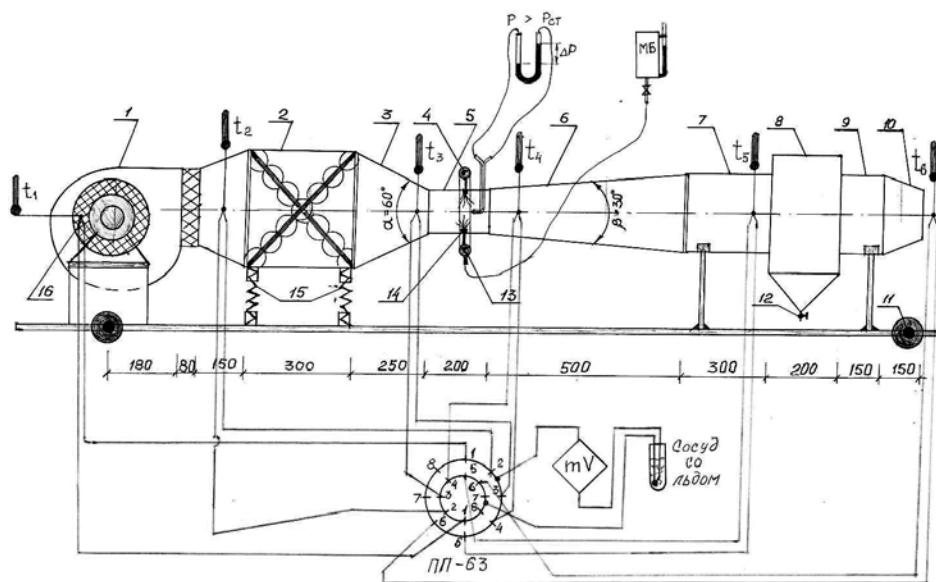
## ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ МЕЖДУ ВОЗДУХОМ И ВОДОЙ В ПРЯМОТОЧНЫХ КОНДИЦИОНЕРАХ СМЕШИВАЮЩЕГО ТИПА

Исследуются теплообменные процессы влажного воздуха, происходящие в прямоточном кондиционере при обработке приточного воздуха для систем кондиционирования воздуха промышленных и общественных зданий, относящегося к теплообменникам смешения. Приведены результаты анализа процессов теплообмена нового кондиционера с помощью I-d диаграммы.

**прямоточный кондиционер, теплообменные процессы, i-d диаграмма, влажный воздух, форсунки, труба Вентури**

В системах кондиционирования воздуха основной рабочей средой является воздух. Влажный воздух представляет собой смесь сухого воздуха и водяных паров. В ненасыщенном воздухе влага находится в состоянии перегретого пара, поэтому свойства влажного воздуха приближенно можно описать законом идеальных газов.

Основные параметры наружного и внутреннего воздуха можно определить с помощью измерительных приборов, психрометром и барометром, как показано на рисунке 1. Используя расчетные формулы и с помощью I-d диаграммы, можно определить и другие параметры воздуха, а результаты расчетов и измерений приведены в таблице 1.



**Рисунок 1** — Схема опытно-промышленной установки прямоточного кондиционера: 1 — вентилятор; 2 — корпус нагревателей; 3 — конфузор; 4 — водораспределительное кольцо; 5 — горловина; 6 — диффузор; 7 — воздуховод; 8 — сепаратор-шумоглушитель; 9 — выходной воздуховод; 10 — переход; 11 — передвижная тележка; 12 — спускной кран; 13 — штуцер для водопровода; 14 — тангенциальные форсунки; 15 — виброоснование; 16 — фильтр на входе приточного воздуха.

Таблица 1 – Результаты расчетов параметров влажного воздуха в летний период для прямоточного кондиционера

№ п/п	Наименование величин	Обозначение	Ед. измерения	Результаты расчетов	
				Наружного воздуха	Внутреннего воздуха
1	Температура воздуха по сухому термометру	$t_c$	°C	$t_c^u = 25$	$t_c^B = 25$
2	Температура воздуха по мокрому термометру	$t_m$	°C	$t_m^u = 17$	$t_m^B = 17$
3	Атмосферное давление по барометру	$P_0$	кПа	$P_0^u = P_{c.B.} + P_{v.p.}$	$P_0^B = 99,3$
4	Парциальное давление сухого воздуха	$P_{c.v.}$	кПа, мм рт.ст	525 мм рт.ст.	70 кПа
5	Парциальное давление водяных паров в воздухе	$P_{v.p.}$	кПа, мм рт.ст.	220 мм рт.ст.	29,3 кПа
6	Влагосодержание	$d$	г/кг	$d = \frac{M_n}{M_c} = 8,2$	$622 \frac{P_n}{(P_0 - P_n)}$
7	Масса водяных паров	$M_n$	г	8,2	
8	Масса сухого воздуха	$M_c$	кг <sub>с.в.</sub>	1	
9	Максимальное влагосодержание	$d_n$	г/кг	$d_n = \frac{M_n}{M_c} = 12,2$	$622 \frac{P_n}{(P_0 - P_n)} = 12$
10	Парциальное давление насыщенных водяных паров	$P_n$	кПа	$P_n = 479 + (11,52 + 162t)^2 = 746$	
11	Относительная влажность	$\varphi$	%	$\varphi = \frac{P_n}{P_0} 100 \% = 42$	$\varphi = \frac{P_n}{P_0} 100 \% = 67$
12	Плотность воздуха	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>		
13	Массовая теплоемкость сухого воздуха	$C_{c.v.}$	кДж/кг·°C	1,005	
14	Массовая теплоемкость водяных паров	$C_n$	кДж/кг·°C	1,806	
15	Массовая теплоемкость влажного воздуха	$C$	кДж/кг·°C	$C = C_{c.v.} + C_n \cdot d \cdot 10^{-3} = 1,02$	
16	Энталпия сухого воздуха	$I_c$	кДж/кг	$I_c = 1,005 \cdot t_c = 25,125$	
17	Энталпия водяных паров	$I_n$	кДж/кг	$I_n = (2500 + 1,806t) \cdot d \cdot 10 - 3 = 2,1$	
18	Энталпия влажного воздуха	$I$	кДж/кг	$I = I_c + I_n = 27,225$	
19	Плотность сухого воздуха	$\rho_{v.p.}$	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_c = \frac{P_{c.v.}}{P_{v.p.} \cdot T} = 1,185$	
20	Плотность водяных паров	$\rho_{v.p.}$	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{v.p.} = \rho_{v.p.} + \rho_n$	
21	Угловой луч процесса	$\varepsilon$	кДж/кг	$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} \cdot 1000$	

При контакте влажного воздуха с открытой поверхностью воды, температура которой отличается от температуры мокрого термометра воздуха, возникает политропный процесс тепло- и массообмена между воздухом и водой, таким образом изменяется теплосодержание и влагосодержание воздуха.

Характер процесса изменения параметров воздуха на I-d диаграмме зависит от температуры воды  $t_w$ .

Если температуру воды  $t_w$  принять неизменной, то политропный процесс на I-d диаграмме изобразится прямой, соединяющей точку начального состояния влажного воздуха с точкой на кривой  $\varphi = 100 \%$  при температуре, равной  $t_w$ . Эта точка даст параметры насыщенного воздуха при температуре воды, то есть она отражает состояние пограничного слоя между водой и воздухом, с которым происходит тепло- и массообмен.

Фактически температура воды в массе отличается от температуры на ее поверхности, однако для построения процессов температура воды принимается равной температуре насыщенного воздуха в пограничном слое. В действительности температура воды изменяется в процессе контакта с воздухом, хотя мы приняли ее постоянной.

Политропные процессы при температуре воды ниже температуры воздуха по мокрому термометру приводят к понижению теплосодержания воздуха. При этом процессе температура и теплосодержание воздуха будет падать, а влагосодержание и относительная влажность будет возрастать. Воздух будет увлажняться за счет испарения воды.

При температуре воды  $t_{w2}$ , равной температуре точки росы, температура и теплосодержание будут падать, а относительная влажность будет возрастать, при постоянном влагосодержании.

При дальнейшем снижении температуры воды, наступит момент, когда луч процесса станет касательным к кривой  $\varphi = 100\%$ . Направление этой линии является предельным для процессов обработки воздуха водой.

Политропные процессы при температуре воды выше температуры воздуха по мокрому термометру приводят к повышению теплосодержания воздуха. При этом температура воздуха падает, а теплосодержание, влагосодержание и относительная влажность возрастают.

Любой процесс изменения состояния влажного воздуха сопровождается изменением его теплосодержания на величину  $\Delta I$  и влагосодержания на величину  $\Delta d$ , причем значения этих величин могут иметь знак плюс (приращение), либо минус (снижение), либо могут быть равны нулю.

Угловой масштаб в  $I-d$  диаграмме или отношении  $DI / Dd$  однозначно определяет характер процесса изменения влажного воздуха. Большие абсолютные значения этого отношения характеризуют тепловые процессы с преимущественным изменением теплосодержания воздуха, а малые значения характеризуют влажностные процессы, преимущественно с изменением влагосодержания.

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} \cdot 1000 \text{ (кДж/кг).} \quad (1)$$

Изменение параметров воздуха внутри помещений обусловлено наличием избытков либо недостатков теплоты  $Q$  и выделением влаги  $W$ . Прирост теплосодержания вентиляционного воздуха  $\Delta I = Q / G$ , прирост влагосодержания  $\Delta d = W / G \cdot 1000$ . Тепло-влажностное отношение для процесса внутри помещения по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} \cdot 1000 = \frac{Q}{W}, \quad (2)$$

то есть угловой коэффициент равен отношению избытка теплоты к выделениям влаги.

На  $I-d$  диаграмме наносится направление луча процесса обусловленный величиной  $\Delta I / \Delta d$ , соответствующий определенным значениям углового коэффициента  $\varepsilon$ .

Угловой масштаб изображается на  $I-d$  диаграмме отрезками лучей на рамке поля диаграммы, где указаны значения  $\varepsilon$ , соединенные с температурой  $t = 60^{\circ}\text{C}$ .

#### Построение процессов тепло- и массообмена в прямоточном кондиционере на $I-d$ диаграмме.

Исходя из выше описанных физических свойств влажного воздуха и результатов расчета основных параметров, произведенных в таблице, можно наглядно с помощью  $I-d$  диаграммы построить тепло- и массообменные процессы, происходящие в опытно-промышленной установке прямоточного кондиционера (рис. 2).

Процессы тепломассобмена необходимо строить как для летнего, так и для зимнего периодов, то есть для минусовой температуры наружного воздуха.

В летний период, когда температура наружного воздуха достигает  $+25^{\circ}\text{C}$  и более, секцию нагрева воздуха можно полностью отключить от электросети. Таким образом, наружный воздух с температурой  $t_n = 25^{\circ}\text{C}$  и относительной влажностью  $\varphi = 42\%$ , пройдя матерчатый фильтр и вентилятор, поступает в горловину трубы Вентури, где он увлажняется и охлаждается водопроводной водой с температурой  $t_w = 15^{\circ}\text{C}$ , через тангенциальные форсунки из водопроводной сети.

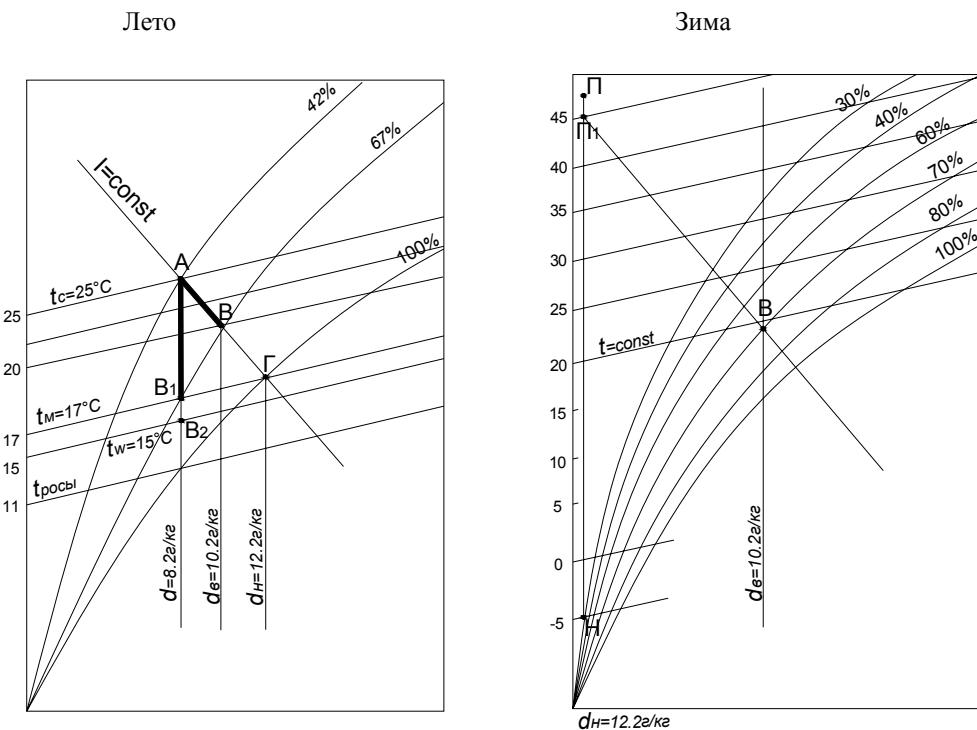


Рисунок 2 – Изображение процессов теплообмена на I-d диаграмме.

Наружный воздух с  $t_n = 25^\circ\text{C}$ , точка Н, охлаждается при влагосодержании  $d_n = 8,2 \text{ г/кг} = \text{const}$  до  $t_{n1} = 15^\circ\text{C}$  водой, при этом увеличивается относительная влажность до  $\varphi = 67\%$  и теплосодержание  $I_n = I_b$  наружного влажного воздуха равно внутреннему, но при разных температурах  $t_b = 18^\circ\text{C}$  (точка В).

В зимний период необходимо вначале подогреть наружный воздух с помощью электронагревателей, расположенных в корпусе перед трубой Вентури до температуры примерно  $45^\circ\text{C}$ , а затем, пройдя форсуночное пространство, оросить водой и его температура снизится при постоянном теплосодержании  $I = 42 \text{ кДж/кг}$  до расчетной температуры воздуха внутри помещения  $t_b = 20^\circ\text{C}$ .

На I-d диаграмме отрезок Н-П – это подогрев наружного воздуха зимой от температуры  $t_n = -5^\circ\text{C}$  до температуры  $t_n = 45^\circ\text{C}$ . После орошения воздуха в горловине трубы Вентури теплосодержание его не изменится и параметры внутреннего воздуха в точке В составят: температура воздуха от 18 до  $20^\circ\text{C}$ ; влагосодержание  $d_b = 10,2 \text{ г/кг}$ ; относительная влажность  $\varphi = 50\ldots60\%$ ; теплосодержание  $I = 40 \text{ кДж/кг}$ .

**Выводы.** В результате исследований опытно-промышленной установки прямоточного кондиционера подтверждена его работоспособность в летний период года. Установлено, что он обеспечивает расчетные параметры кондиционируемого воздуха в помещении цеха. Компактность установки позволяет размещать его непосредственно в цехе, что снижает затраты на ее изготовление по сравнению с существующими промышленными кондиционерами приблизительно в 10 раз.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олексюк А. А. Энергоресурсосберегающие технологии для систем теплоснабжения / Олексюк А. А. — Макеевка : ДонНАБА, 2005. — С. 197–202. : ISBN 966–7477–54–1.
2. Олексюк А. А. Энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения при использовании отопительных электрокалориферов / Олексюк А. А., Редько А. Ф. // Коммунальное хозяйство городов : [научн. техн. сб.]. — К. : Техника, 2003. — Вып. 51. — С. 144–149.
3. Пат. 19166 Україна, МПК F24H 3/04. Прямотечійний кондиціонер / Олексюк А.О. ; заявник і патентовласник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. — заявл. 10.04.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.
4. Еремкин А. И. Экономика энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха : [учебн. пособ.] / Еремкин А. И., Королева Т.И., Аверкин А.Г. — Пенза : ПГУАС, 2006. — 167 с.
5. Кокорин О. Я. Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Кокорин О. Я. — М. : Проспект, 1999. — 287 с.
6. Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха / Кокорин О. Я. — М. : Физматлит, 2003. — 304 с.

Получено 13.09.2010

А. О. ОЛЕКСЮК, А. А. ГОРДЕЛЮК, Н. А. МАКСИМОВА  
ТЕПЛООБМІННІ ПРОЦЕСИ МІЖ ПОВІТРЯМ І ВОДОЮ В ПРЯМОТОЧНИХ  
КОНДИЦІОНЕРАХ ЗМІШУЮЧОГО ТИПУ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Досліджуються теплообмінні процеси вологого повітря, що відбуваються в прямоточному кондиціонері при обробці припливного повітря для систем кондиціонування повітря промислових і супільних будівель, що відноситься до теплообмінників змішування. Наведені результати аналізу процесів теплообміну нового кондиціонера за допомогою i-d діаграмами.  
**прямоточний кондиціонер, теплообмінні процеси, i-d діаграма, вологе повітря, форсунки, труба Вентури**

A. O. OLEKSYUK, A. A. GORDELYUK, N. A. MAKSIMOVA  
HEAT-EXCHANGING BETWEEN AIR AND WATER IN DIRECT-FLOW  
CONDITIONERS OF MIXING TYPE  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The heat-exchange processes of moist air occurring in a parallel-flow conditioner at the incoming air treatment for air-conditioning systems of industrial and public buildings referred to mixing heat exchangers have been investigated. The results of heat exchanging analyses of a new air-conditioner by means of i-d diagram have been cited.

**direct-flow conditioner, heat exchange processes, i-d diagram, moist air, nozzle, Venturi tube**

**Олексюк Анатолій Олексійович** — доктор технічних наук, професор кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Гордлюк Артем Андрійович** — студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Максимова Наталія Анатоліївна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка термотрансформаторів та теплових насосів, енергоресурсозбереження.

**Олексюк Анатолий Алексеевич** — доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергопресурсосбережение.

**Гордлюк Артем Андреевич** — студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергопресурсосбережение.

**Максимова Наталья Анатольевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка термотрансформаторов и тепловых насосов, энергопресурсосбережение.

**Oleksyuk Anatoly Alekseyevich** — a D. Sc. (Engineering), a Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy resources saving.

**Gordelyuk Artem Andreyovich** — an undergraduate student of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy resources saving.

**Maksimova Natalya Anatolyevna** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heating Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: thermal transformers and thermal compressors designing, energy resources saving.

УДК 697.32

**А. В. ЛУКЬЯНОВ, В. В. ОСТАПЕНКО, В. Д. АЛЕКСАНДРОВ**  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **АККУМУЛЯТОРЫ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА**

Рассмотрен вопрос направления развития энергетики Украины, предложен вариант аккумуляции тепловой энергии теплоаккумуляторами на основе фазового перехода, приведены основные типы тепловых аккумуляторов фазового перехода.

**теплоаккумулятор, твердый аккумулирующий материал, фазовый переход, теплоноситель, энергетика**

Современный уровень цен на природный газ в странах Европы составляет 220–350 USD/тыс. м<sup>3</sup> для промышленных потребителей и 550–600 USD/тыс. м<sup>3</sup> для бытовых потребителей с тенденцией к дальнейшему росту. В связи с либерализацией энергетических рынков, неминуемым есть приближения цен на природный газ в Украине к уровню мировых.

Рост цены на природный газ к среднеевропейскому уровню приводит к снижению его конкурентоспособности в производстве довольно широкого спектра товарной продукции и услуг в Украине. Наибольшие изменения будут происходить во время выбора первичного энергоносителя для производства тепла и электроэнергии.

Вместе с тем прогнозируемое отставание темпов роста цен на электрическую энергию от цен на природный газ и нефть создает экономические условия для использования электрической энергии вместо природного газа и мазута в системах промышленного и бытового теплообеспечения.

С целью оптимизации режимов производства электрической энергии и повышение коэффициента использования мощностей атомных энергоблоков путем увеличения потребления электроэнергии в часы «ночного провала» целесообразно поэтапно заменять газовый нагрев системами аккумуляционного электронагрева, которые являются потребителями-регуляторами, обеспечив оптимальное управление зонными и дифференцированными тарифами на электрическую энергию. Это разрешит существенно снизить объемы потребления природного газа на нужды отопления.

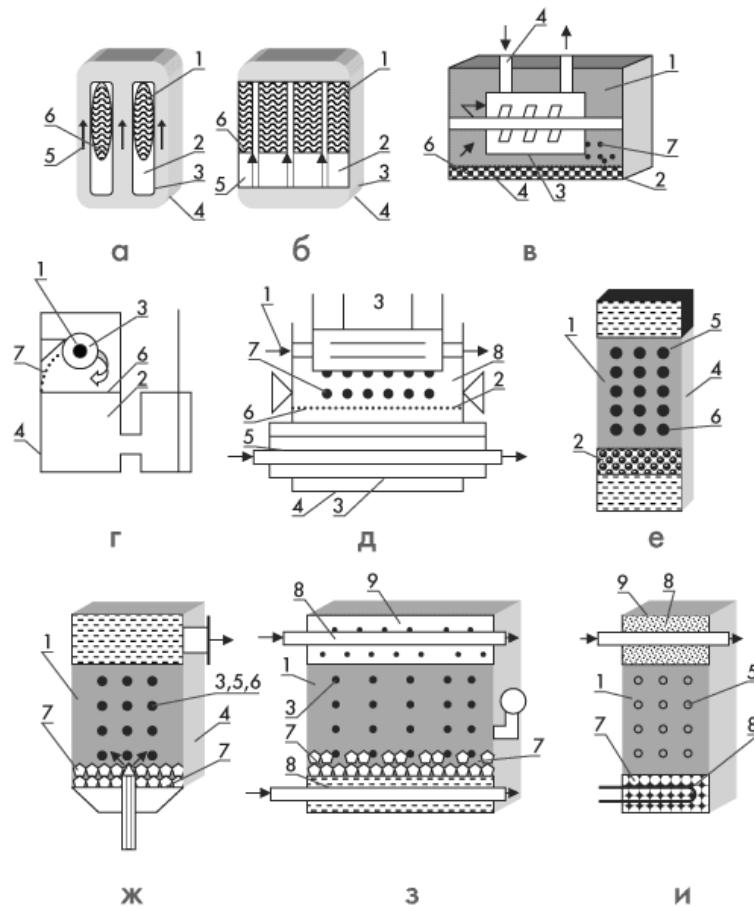
Наряду с вопросом об эффективном электрогенераторе тепловой энергии становится вопрос о способе хранения выработанной им в период «ночного провала» теплоты. Использование в качестве аккумулятора теплоты жидкости — воды сталкивается с множеством трудностей. Во-первых, емкости для накопления воды значительно велики и объемны; во-вторых, возникают трудности с использованием перегретой воды выше 100 °C, что ограничивает рамки смешения теплоносителя и воды в аккумуляторе; в-третьих, постоянное изменение параметров аккумулятора в период отбора теплоты (снижается температура термоаккумулирующего материала).

В таких условиях перспективным становится рассмотрение аккумуляции тепловой энергии на основе фазовых переходов различных материалов. Эффективность этого способа обусловлена тем, что для многих веществ значение энталпии фазового перехода значительно выше теплосодержания за счет теплоемкости.

При небольших рабочих температурах (до 120 °C — температурный режим работы сети теплоснабжения) рекомендуется применение кристаллогидратов неорганических солей, что связано в первую очередь с использованием в качестве ТАМ природных веществ. Для реального применения рассматриваются только вещества, не разлагающиеся при плавлении либо растворяющиеся в избыточной воде, входящей в состав ТАМ. Использование органических веществ полностью снимает вопросы коррозионного разрушения корпуса, обеспечивает высокие плотности запасаемой энергии, достаточно хорошие технико-экономические показатели. Однако в процессе работы теплового

аккумулятора с органическими ТАМ происходит снижение теплоты плавления вследствие разрушения протяженных цепочек молекул полимеров. Из-за низкого коэффициента теплопроводности органических ТАМ требуется создание и применение развитых поверхностей теплообмена, что, в свою очередь, накладывает конструктивные ограничения на использование теплового аккумулятора.

Применение разнообразных теплоаккумулирующих материалов требует разработки надежных конструктивных решений, направленных на максимальное использование положительных качеств ТАМ и исключение их недостатков (рис. 1).



**Рисунок 1** – Основные типы тепловых аккумуляторов фазового перехода: а – капсульный; б – кожухотрубный; в, г – со скребковым удалением ТАМ; д – с ультразвуковым удалением ТАМ; е, ж – с прямым контактом и прокачкой ТАМ; з, и – с испарительно-конвективным переносом тепла; 1 – жидкий ТАМ; 2 – твердый ТАМ; 3 – поверхность теплообмена; 4 – корпус теплового аккумулятора; 5 – теплоноситель; 6 – граница раздела фаз; 7 – частицы твердого ТАМ; 8 – промежуточный теплообменник; 9 – паровое и жидкостное пространства для теплоносителя.

Размещение ТАМ в капсулах (рис. 1 а) обеспечивает высокую надежность конструкции, позволяет создавать развитую поверхность теплообмена, компенсировать (при использовании гибких капсул) изменение объема в процессе фазовых переходов. Однако вследствие низкой теплопроводности ТАМ необходимо большое число капсул малого размера, что приводит к большой трудоемкости изготовления теплового аккумулятора. Поэтому целесообразным является применение капсулных тепловых аккумуляторов в случаях малых тепловых потоков, отводимых теплообменной поверхностью.

Расположение ТАМ в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника (рис. 1 б) обеспечивает рациональное использование внутреннего объема теплового аккумулятора и применение традиционных технологий изготовления теплообменных аппаратов. Однако при такой конструкции затруднено обеспечение свободного расширения ТАМ, вследствие чего понижена надежность аккумулятора в целом.

Самым технологически сложным и дорогим элементом теплового аккумулятора традиционной конструкции является теплообменная поверхность. Вследствие низких коэффициентов теплопроводности большинства плавящихся ТАМ, в настоящее время предложены различные способы уменьшения поверхности теплообмена путем сокребания ТАМ (рис. 1 в, г), путем ультразвукового либо электрогидравлического разрушения затвердевшего ТАМ (рис. 1 д). Указанные выше способы позволяют существенно снизить величину термического сопротивления теплообменной поверхности, но в то же время они в несколько раз увеличивают нагрузки на конструктивные элементы аккумулятора.

Известно, что лучшим вариантом теплообменной поверхности является ее полное отсутствие, т. е. непосредственный контакт теплоаккумулирующего материала и теплоносителя. Очевидно, что в этом случае необходимо подбирать как теплоаккумулирующие материалы, так и теплоносители по признакам, обеспечивающим работоспособность конструкций.

Теплоаккумулирующие материалы в этом случае должны отвечать следующим требованиям [1, 2]: кристаллизоваться отдельными кристаллами; иметь большую разность плотностей твердой и жидкой фаз; быть химически стабильными; не образовывать эмульсий с теплоносителем. Теплоносители подбираются по следующим признакам: химическая стабильность в смеси с ТАМ; большая разница плотностей по отношению к ТАМ; малая способность к вспениванию; ряд других требований, вытекающих из особенностей конструкции.

При использовании более плотного теплоносителя, чем твердый ТАМ, реализуется схема, изображенная на рис. 1 е. В процессе работы аккумулятор заполнен смесью теплоаккумулирующего материала и теплоносителя. В верхнюю часть теплового аккумулятора подается жидкий теплоноситель, который попадает на поверхность ТАМ, охлаждает (нагревает) его и отводится из нижней части аккумулятора. За счет меньшей плотности жидкой фазы ТАМ, по сравнению с твердой, его закристаллизовавшиеся частицы опускаются в нижнюю часть аккумулятора. В дальнейшем происходит постепенное заполнение всего объема закристаллизовавшимся ТАМ. При использовании теплоносителя с плотностью, меньшей плотности ТАМ, реализуется схема, изложенная на рис. 1 ж. Распыл теплоносителя происходит в нижней части аккумулятора. В процессе всплытия капель теплоносителя ТАМ нагревается либо охлаждается и одновременно интенсивно перемешивается. Очевидно, основными недостатками приведенных способов контакта ТАМ и теплоносителя являются потребности в постороннем источнике энергии для прокачки и необходимость тщательной фильтрации теплоносителя с целью препятствия уноса частиц ТАМ.

Указанные недостатки отсутствуют в конструкции, использующей принцип испарительно-конвективного переноса тепла при непосредственном контакте ТАМ и теплоносителя (рис. 1 з). Для обеспечения работоспособности теплового аккумулятора необходимо, чтобы температура кипения теплоносителя при атмосферном давлении была несколько ниже температуры плавления ТАМ. Для заряда аккумулятора давление и, соответственно, температура кипения теплоносителя в нем устанавливаются выше температуры плавления ТАМ. В зарядном теплообменнике осуществляется подвод тепла. Теплоноситель закипает, и пузырьки пара при температуре выше температуры плавления ТАМ поднимаются вверх и подогревают ТАМ. При этом происходит плавление ТАМ и конденсация теплоносителя. Расплавленный ТАМ поднимается вверх, а конденсат теплоносителя опускается вниз. По мере плавления ТАМ пузырьки теплоносителя выходят в паровое пространство теплового аккумулятора, и в конце процесса зарядки весь теплоноситель в паровой фазе находится в паровом пространстве. На этапе отвода тепла от теплового аккумулятора давление в нем снижается так, что температура конденсации теплоносителя становится ниже температуры плавления ТАМ. При отводе тепла на поверхности разрядного теплообменника происходит конденсация теплоносителя, который стекает на расплавленный ТАМ. В результате происходит испарение капель теплоносителя и кристаллизация частиц ТАМ. Затвердевший ТАМ опускается в нижнюю часть теплового аккумулятора, а пар теплоносителя поднимается вверх. По мере охлаждения ТАМ капли теплоносителя опускаются все ниже и ниже, и в конце разрядки весь теплоноситель оказывается в нижней части теплового аккумулятора.

Таким образом, применение аккумуляторов теплоты в системах теплоснабжения позволит расширить масштабы электроэнергии для нужд теплоснабжения, при этом сгладить ночные провалы в электропотреблении, и уменьшить зависимость энергетики страны от «голубого» топлива.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левенберг В. Д. Акумулирование тепла / Левенберг В. Д., Ткач М. Р., Гольстрем В. А. — К. : Техника, 1991.
2. Термофизические свойства теплоаккумулирующих материалов, кристаллогидраты / А. Г. Мозговой, Э. Э. Шпильрайн, М. А. Дибиров [и др]. — АН СССР. Ин—т высоких температур, Науч. — информ. центр по теплофиз. свойствам чистых веществ. — М. : 1990. — 105 с. : ил.
3. Сотникова О. А. Акумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения / Сотникова О. А., Турбин В. С., Григорьев В. А. // АВОК-пресс. — 2003. — № 5.
4. Такахаси Есио. Разработка специальных материалов — ключ к решению проблемы аккумулирования скрытой тепловой энергии / Такахаси Есио // Находно-исследовательский гидроцент. — С. 61—67.
5. Naumann R. Salzhydrate als latentwärmespeichermaterialen / Naumann R., Emons H. H. // Sitzungsberichte der AdW der DDR. — 1986. — № 3. — Р. 31—44.

Получено 02.09.2010

О. В. ЛУК'ЯНОВ, Д. В. ОСТАПЕНКО, В. Д. АЛЕКСАНДРОВ  
АКУМУЛЯТОРИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто питання напряму розвитку енергетики України, запропоновано варіант акумуляції теплої енергії теплоакумуляторами на базі фазового перетворення, наведені головні типи теплових акумуляторів фазового перетворення  
**теплоакумулятор, твердий акумуляційний матеріал, фазові перетворення, теплоносій, енергетика**

A. V. LUKYANOV, V. V. OSTAPENKO, V. D. ALEKSANDROV  
THERMAL ENERGY ACCUMULATORS BASED ON PHASE TRANSITION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and architecture

The paper deals with the problem of the power engineering drift of Ukraine. The thermal energy accumulation version with heat accumulators based on phase transition has been offered. The main types of phase transition thermal accumulators have been listed.  
**heat accumulator, solid heat-storing material, phase transition, heat-transfer agent, power engineering**

**Лук'янов Олександр Васильович** — доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозберігаючі технології в системах теплопостачання, теплогенератори локальних систем теплопостачання.

**Остапенко Віталій Валерійович** — асистент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозберігаючі технології в системах теплопостачання.

**Александров Валерій Дмитрович** — доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри «Фізика та фізичне матеріалознавство» Донбаської національної академії будівництва та архітектури, академік Академії наук Вищої школи України, Міжнародний експерт в галузі фізики та хімії кристалічної речовини (США). Наукові інтереси: вивчення фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовини.

**Лук'янов Александр Васильевич** — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения, теплогенераторы локальных систем теплоснабжения.

**Остапенко Виталий Валериевич** — ассистент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения.

**Александров Валерий Дмитриевич** — доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика и физическое материаловедение» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, академик Академии наук Высшей школы Украины, Международный эксперт в области физики и химии кристаллического вещества (США). Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

**Lukyanov Aleksander Vasilyevich** — a D. Sc. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation engineering in the heat supply systems; heat generators of the local heat supply systems.

**Ostapenko Vitaly Valeryevich** — a teaching fellow of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation engineering in the heat supply systems.

**Aleksandrov Valery Dmitrievich** — a D. Sc. (Chemistry), a Professor, the Chair of the Physics and Physical Materials Science Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. An Academician of the Academy of Sciences of Higher School of Ukraine, an international expert in the field of physics and chemistry of crystalline substance (USA). Research interests: study of physical and chemical grounds of the rate processes of substance crystallization.

УДК 628.93

**В. И. ТИМЧЕНКО, Н. И. НОСАНОВ, Т. И. РОМАНОВА**  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА ОСВЕЩЕННОСТЬ ОБЪЕКТОВ**

Проведен сравнительный анализ измерения освещенности объектов от разных источников света. Установлено, что в показаниях люксметра не учитывается спектральное распределение света, важное для зрительного восприятия. Предлагается кроме интегрального светового потока контролировать освещенность объектов по соотношениям показаний люксметра для нескольких полос, выделяемых светофильтрами.

**СД лампа, фотометрия, спектральный состав**

**Постановка задачи.** Современные проблемы энергоэффективного освещения различных объектов многогранны и связаны с различными сферами производства и применения. Их решением сейчас занимается большое количество фирм и организаций, работающих в области светотехники. И это действительно актуально, поскольку дефицит электрической энергии становится проблемой мирового значения.

Необходимо отметить, что лампы накаливания сегодня являются недопустимо устаревшим источником света. Во многих странах мира это очень отчетливо осознается и в последнее время там принимаются исключительно жесткие меры по вытеснению ламп накаливания. В частности, в ноябре 2008 года вышло Постановление Правительства Украины о том, что, начиная с 2009 года во всех правительственные зданиях лампы накаливания должны быть заменены на другие более энергоэффективные источники света. Аналогичные решения приняты правительствами других стран.

Светодиодные источники света в наше время охватывают все больше областей применения [1, 2]. Приобретенные за последние годы характеристики новых светильников выводят их в лидеры среди других традиционно используемых источников света. Но при всех преимуществах светодиодов и светодиодных систем освещения существует ряд вопросов, правильное решение которых может привести к существенной модернизации как отдельных полупроводниковых источников света, так и осветительных систем на их основе.

Основной «движущей силой» такого роста является постоянно увеличивающийся уровень яркости светодиодов (СД). Кроме того, на рынок приходят новые материалы и технологические процессы изготовления кристаллов. По прогнозам экспертов внедрение в нашу жизнь ультраярких мощных светодиодов (и, конечно, мощных осветительных систем) со временем будет идти все более быстрыми темпами. При массовом производстве их цена будет постоянно снижаться. Одновременно с увеличением разновидностей как самих светодиодов, так и их возможных применений, повышаются и требования к уровню компетентности, необходимого проектировщикам и архитекторам для построения светодиодных систем освещения. Современный рынок оптоэлектронных компонентов требует понимания не только оптических свойств светодиодных источников света, но и методов их измерения.

Безусловно, наиболее типичные вопросы, которые задают среднестатистические потребители, связаны с оптическими свойствами светодиодов: насколько яркие ваши светодиоды? Когда говорят о преимуществах светодиодов по сравнению с традиционными источниками света, как правило, срабатывает стереотип о ста тысячах часов, экономичности, надежности и т. п. На самом деле все гораздо сложнее. Во-первых, если речь идет о мощном полупроводниковом источнике света (полупроводниковой лампе), недостаточно просто иметь надежный и эффективный кристалл. Во-вторых,

необходимо решить вопрос о правомерности использования существующих способах контроля светоизлучения новых систем освещения. Точная фотометрия излучающих устройств и последующая правильная интерпретация получаемых результатов обычно представляют собой достаточно сложную задачу и требуют большой изобретательности и терпения. Представляется важным понимание способов фотометрирования осветительных установок, изготовленных на основе светодиодных излучателей.

**Фотометрия источников света.** Хотя исторически фотометрия сложилась первой, в настоящее время она рассматривается как отдельная область радиометрии, в которой характеристика устройства, измеряющего излучение (обычно называемого чувствительным элементом или фотоприемником), зависит от длины волны измеряемого излучения некоторым четко определенным образом, характерным для самого материала и конструктивных особенностей измерительного прибора [3]. Глаз человека на протяжении более чем 200 лет был тем самым эталонным приемником излучения, с помощью которого и проводились измерения силы света, яркости и освещенности. Затем был создан прибор для измерения освещенности (люксметр), который имеет спектральную характеристику, близкую к спектральной характеристики глаза «стандартного наблюдателя».

Фотометрическое действие источника излучения может быть измерено непосредственно фотометром, однако большинство фотоприемников ориентировано на использование их с энергетическими излучающими системами. Поэтому, часто оказывается необходимо преобразовывать энергетические параметры источника (такие, как номинальная мощность ламп накаливания в канделях) в фотометрические и наоборот. Сравнение энергетической и фотометрической терминологии приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Энергетические и фотометрические величины

Описание	Энергетические единицы	Фотометрические единицы
Поток лучистой энергии	Лучистый поток, $P$ , Вт	Световой поток, $F$ , лм
Поток, испускаемый с поверхности источника	Энергетическая светимость, $W$ , Вт/м <sup>2</sup>	Светимость, $L$ , лм/м <sup>2</sup>
Сила источника излучения (объемный источник)	Энергетическая яркость, $B_r$ , Вт/(ср·м <sup>2</sup> )	Яркость, $B_L$ , кд/м <sup>2</sup>
Сила источника излучения (точечный источник)	Энергетическая сила света, $I_r$ , Вт/ср	Сила света, $I_L$ , кд
Плотность потока, падающего на поверхность приемника	Энергетическая освещенность (облученность) $H$ , Вт/м <sup>2</sup>	Освещенность, $E$ , лк

Между энергетическими и фотометрическими величинами существует взаимосвязь. Так, на длине волны 550 нм (длина волны максимальной чувствительности стандартного наблюдателя) излучаемый поток мощностью в 1 Вт равен световому потоку 680 лм. Фотометрическое действие источника излучения может быть измерено непосредственно фотометром.

Люксметры по принципиальной схеме являются наиболее простыми из всех фотометрических приборов. Фотоэлектрические люксметры состоят, как правило, из фотоэлемента и чувствительного электроизмерительного прибора. Необходимым условием правильности показаний люксметра является соответствие спектральной чувствительности фотоприемника функции видности человеческого глаза, т. е. максимальная чувствительность должна быть в желто-зеленой области со спадом в ультрафиолетовую (до 380 нм) область и в инфракрасную (более 750 нм) область. Поскольку площадь фотоприемника строго фиксирована, сигнал от него пропорционален освещенности, и шкала прибора, соответственно, проградуирована в люксах.

В принципе, показания люксметра, как и любого электроизмерительного прибора, обусловлены величиной тока, протекающего через индикатор. Таким образом, на получаемый при измерениях (например, освещенности) отсчет в общем случае оказывают влияние несколько разных факторов:

- спектральное распределение плотности потока излучения  $f_{\lambda}(\lambda)$ ;
- оптические свойства (коэффициент поглощения) среды, в которой распространяется свет  $\alpha(\lambda)$ ;
- фотоэлектрические параметры материала фотоприемника  $g(\lambda)$ ;
- характеристики собственно электрической измерительной части прибора  $\varphi$  и т. д.

Следовательно, величина тока (отсчет) в люксметре  $I(E)$  представляет собой достаточно сложную функциональную зависимость от спектрального состава падающего на прибор излучения

$$I(E) = \int_0^{\infty} f_{\lambda}(\lambda) \cdot \alpha(\lambda) \cdot g(\lambda) \cdot \varphi \cdot d\lambda. \quad (1)$$

Для достаточно узкого оптического диапазона (видимая область спектра) и сравнительно небольшого интервала токов в измерительном приборе можно считать, что  $\alpha(\lambda)$  и  $\varphi$  для различных источников света — величины постоянные. Величина тока в этом случае можно представить упрощенным выражением:

$$I(E) = C \cdot \int_{350}^{750} f_{\lambda}(\lambda) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (2)$$

где  $C$  — постоянная величина для данного прибора, а пределы интегрирования соответствуют видимому диапазону.

С точки зрения задачи, поставленной в данной работе, функциональная зависимость фотоэлектрических параметров материала фотоприемника  $g(\lambda)$  мало связана с характеристиками источников излучения, каким можно считать видимую область спектра, тем более, если тип прибора не меняется. Однако надо иметь в виду, что характер спектральной зависимости  $g(\lambda)$  для фотоприемников, изготовленных из разных материалов, по разным технологиям и различными конструкционными способами также меняется.

На рис. 1 показана спектральная зависимость чувствительности  $K$  (в отн. ед.) стандартного наблюдателя (1) и нескольких фотоприемников, изготовленных на основе кремния (2) и арсенида галлия (3). Прибор для измерения освещенности (люксметр) имеет спектральную характеристику, совпадающую со спектральной характеристикой глаза стандартного наблюдателя (1). Как видно,

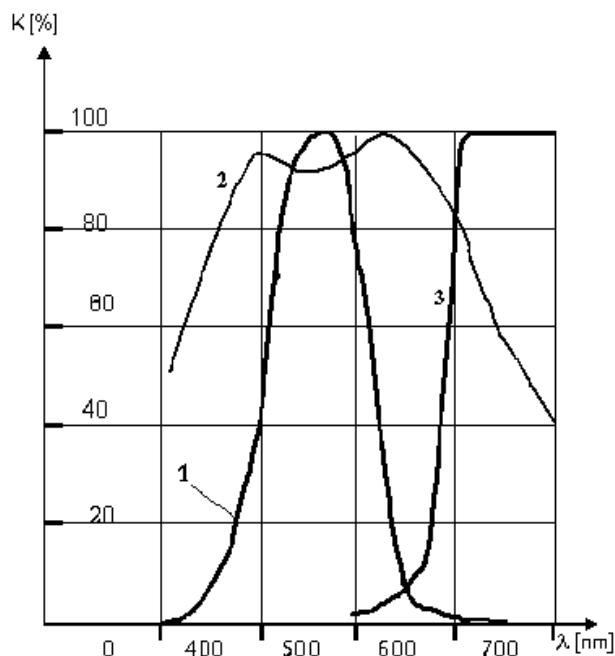


Рисунок 1 — Спектральная чувствительность стандартного наблюдателя (1), фотоприемника на основе Si (2) и GaAs (3) в видимой области спектра.

спектральная чувствительность у кремния весьма близкая к характеристике стандартного наблюдателя функция и вполне резонно может быть использована для фотометрирования и оценки освещенности объектов с точки зрения наблюдателя. Однако, и зрение, и функции  $g(\lambda)$  используемых в фотометрах приемников неравномерны, обладая неоднородной чувствительностью по спектру. Этот эффект оказывает влияние на показания люксметра при измерениях освещенности от светильников с разными излучателями.

В современной светотехнике в качестве искусственных излучателей чаще всего используются нагретое тело (лампы накаливания, газоразрядные лампы, горелки, электрическая дуга), люминофоры, фосфоры и т. д. [4]. Как уже отмечалось, сегодня интенсивно разрабатываются светильники, в основе которых лежат рекомбинационные процессы в электрически неоднородных структурах; светодиоды и лазеры. Все эти источники имеют характерный спектральный состав излучения, который, тем не менее, надо контролировать.

Привычный для человека спектр излучения имеет Солнце. Исключая полосы поглощения земной атмосферы, в видимом диапазоне свет природного светила имеет спектральный состав, соответствующий кривой 1 на рис. 2. В длинноволновой части мощность излучения почти в 5 раз превосходит фиолетовую. Для вольфрамового излучателя с температурой 3 000 К для той же излучающей площади доходит свет, состав которого показан кривой 2 (спектральное распределение мощности на этом графике увеличено в 5 раз). Как видно, плотность излучения в длинноволновой части превосходит излучение в фиолетовой на несколько порядков, что вполне соответствует законам теплового излучения. В представленном спектральном распределении не учтено поглощение света стеклянной колбой.

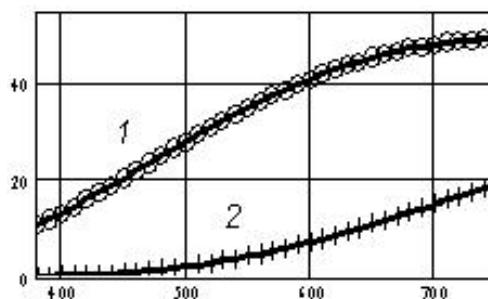


Рисунок 2 – Спектральное распределение излучений Солнца (1) и лампы накаливания с вольфрамовой нитью при 3 000 К (2).

Тем не менее, можно считать, что спектральные составы естественного излучения и света от традиционной лампы накаливания близки в том смысле, что в «красной» области мощность излучения превосходит коротковолновую. При том спектральная зависимость не имеет никаких «особенностей» в виде острых пиков и провалов. Ситуация со спектром излучения для светодиодных ламп с так называемым «белым светом», представленная на рис. 3, сильно осложняется. Выделяется излучение при  $\lambda \approx 460$  нм, «провал» вблизи 500 нм – и мощная полоса в области максимальной чувствительности глаза. Не менее сложные спектры излучения имеют светильники на основе газоразрядных ламп, которые здесь не рассматриваются.

Учитывая особенности спектрального распределения мощности излучения трех разных источников света: естественного ( $\Theta$ ), лампы накаливания ( $w$ ) и светодиода ( $led$ ), выберем функции мощности излучения произвольной, но одинаковой величины, падающие на некоторую площадку. Здесь предполагается, что вся энергия излучения поглощается материалом приемника одного и того же прибора. Приведенные к одной мощности графики спектрального распределения энергии излучения перечисленных выше источников показаны на рис. 4. Представленные смоделированные графики характеризуются ошибкой по интегральной величине менее 7 %.

Величина токов, которые должны быть зарегистрированы индикатором одного и того же люксметра, получаемые после интегрирования по (2), равны:

- для естественного излучения  $J_\Theta \approx 8,54$ ;
- для ламп накаливания  $J_w \approx 5,26$ ;
- и для светодиода  $J_{led} \approx 6,73$ .

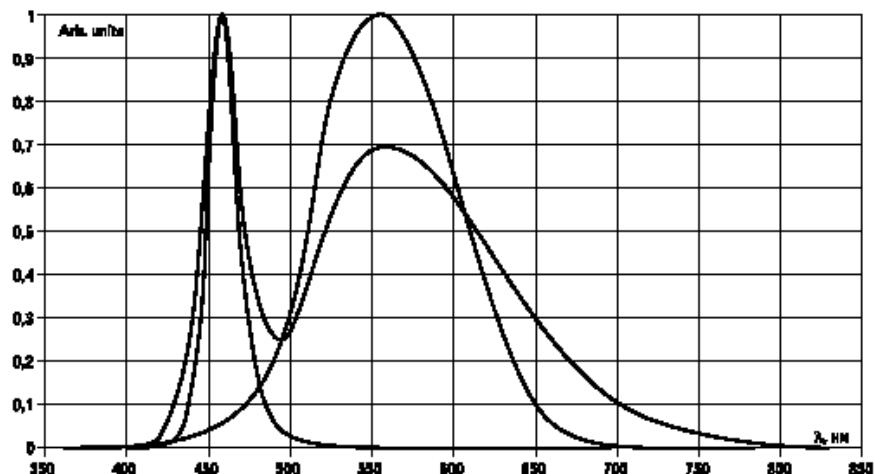


Рисунок 3 – Спектральное распределение излучения белого светодиода фирмы Сree.

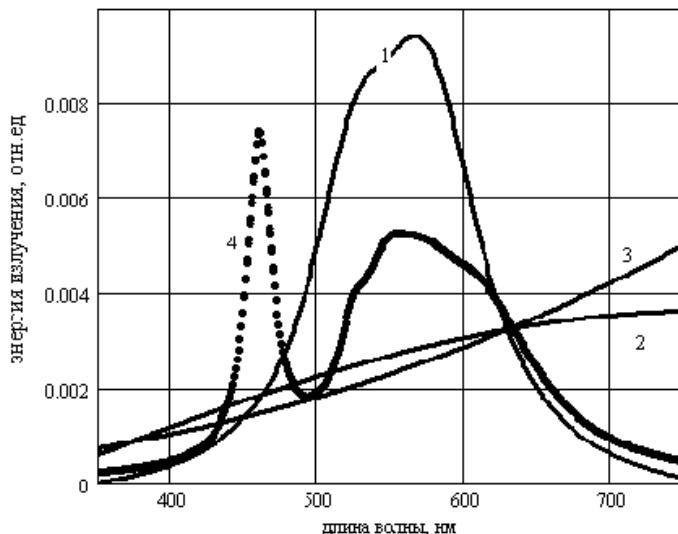


Рисунок 4 – Спектральное излучение одинаковой мощности от трех разных источников света: естественного (2), лампы накаливания (3) и светодиода (4) при постоянной чувствительности фотоприемника (1).

Расчет показывает, что ток люксметра при освещении лампой с белыми светодиодами больше, чем от лампы накаливания, но меньше естественного излучателя одинаковой мощности. Однако, с помощью использования нейтрального светофильтра, токи для  $J_{\Theta}$  и  $J_w$  легко уравнять, помня о близких характеристиках их спектральных зависимостей.

Контроль излучения от светильников на основе светодиодов в их нынешнем состоянии, несмотря на относительно близкие к лампам накаливания показаниям люксметра, требуют специфического подхода. В первую очередь это связано с вкладами в интегральную освещенность интенсивных «пиков» в спектрах излучения вблизи 460 и 560 нм.

**Заключение.** Эта проблема может быть решена путем модернизации производства излучающих элементов, а в общем подходе введением понятия «качества света». В данном контексте под «качеством света» понимается привычная для зрения (стандартный наблюдатель) естественное излучение. Предположительно, в практике, представляется уместным оценка освещенности объекта в нескольких спектральных интервалах. Применительно к светильникам на базе рассмотренных светодиодов, на наш взгляд, это интервалы:  $\lambda \approx 350-450$  нм,  $\lambda \approx 450-550$  нм и  $\lambda \approx 550-750$  нм, которые, на практике, можно выделить полосовыми фильтрами [5]. В указанных интервалах соотношение токов, определяемые интегралом (2), должно составлять  $2 \times 30 \times 50$ . Для традиционных

светильников с лампами накаливания это соотношение имеет вид —  $2 \times 40 \times 70$ , а для СД —  $2 \times 50 \times 80$ . Хотя, очевидно, в СД практически вся мощность фиолетовой части сосредоточена в узкой полосе и визуально это может восприниматься чрезвычайно ярким свечением — часто опасным для зрения. Предлагаемые диапазоны могут уточняться и быть изменены.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harbers G. Visual color matching of LED and tungsten-halogen light sources / G. Harbers, K. McGroddy, R. Petluri, P. K. Tseng, J. Yriberry // Proceedings of CIE 2010 «Lighting Quality and Energy Efficiency» (14–17 March 2010, Vienna, Austria) // Vienna, 2010. — P. 482–487.
2. T.Q. Khanh. LED — a technology combining lighting quality and energy efficiency / T.Q. Khanh. // Proceedings of CIE 2010 «Lighting Quality and Energy Efficiency» (14–17 March 2010, Vienna, Austria) // Vienna, 2010. — P. 34–40.
3. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы) / Гуревич М. М. : [2-е изд., перераб. и доп.] — Гуревич М. М. — Л. : Энергоатомиздат, 1983. — 272 с. : ил.
4. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 472 с.
5. Зайдель А. Н. Техника и практика спектроскопии / Зайдель А. Н., Островская Г. В., Островский Ю. И. — М. : Наука, 1972. — 375 с.

Получено 04.10.2010

В. І. ТИМЧЕНКО, М. І. НОСАНОВ, Т. І. РОМАНОВА  
ВПЛИВ ШТУЧНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА НА ОСВІТЛЕНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Проведений порівняльний аналіз вимірювання освітленості об'єктів від різних джерел світла. Встановлено, що в показаннях люксметра не враховується спектральне розподілення світла, яке важливе для зорового сприйняття. Пропонується крім інтегрального світлового потоку контролювати освітленість об'єктів за співвідношенням показання люксметра для декількох смуг, що виділяються світлофільтрами.

**СД лампа, фотометрія, спектральний склад**

V. I. TIMCHENKO, M. I. NOSANOV, T. I. ROMANOVA  
ARTIFICIAL LIGHT SOURCE IMPACT ON ILLUMINATION INTENSITY OF  
OBJECTS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The comparative analysis of illumination intensity measurement of objects from different light sources has been conducted. It has been determined that spectral distribution of light, which is important for visual perception, has not been recorded in luxmeter readings. It has been suggested to control not only an integral light flux but illumination intensity of objects according to the luxmeter readings for some bands emitted by light filters.

**light-emitting diode (LED) lamp, photometry, spectral distribution**

**Тимченко Володимир Іванович** — кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Електротехніка і автоматика» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка джерел світла нового покоління, електробезпека, електроніка твердих тіл, оптоелектроніка широкозонних матеріалів.

**Носанов Микола Ілліч** — кандидат технічних наук, професор кафедри «Електротехніка і автоматика» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка джерел світла нового покоління, силова діамантова електроніка, електробезпека, електропостачання житлових, громадських і адміністративних будівель.

**Романова Тетяна Іванівна** — магістр, асистент кафедри «Електротехніка і автоматика» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка джерел світла нового покоління, економія електроенергії і електробезпека в житлово-комунальному господарстві міст.

**Тимченко Владімір Іванович** — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Электротехника и автоматика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка источников света нового поколения, электробезопасность, электроника твердых тел, оптоэлектроника широкозонных материалов.

**Носанов Николай Ильич** — кандидат технических наук, профессор кафедры «Электротехника и автоматика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка источников света нового поколения, силовая алмазная электроника, электробезопасность, электроснабжение жилых, общественных и административных зданий.

**Романова Татьяна Ивановна** — магистр, ассистент кафедры «Электротехника и автоматика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка источников света нового поколения, экономия электроэнергии и электробезопасность в жилищно-коммунальном хозяйстве городов.

**Timchenko Vladimir Ivanovich** — a Ph. D. (Physics and Mathematics), an Associate Professor of the Electrical Engineering and Automation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of light sources of new generation, electrical safety, rigid body electronics, optoelectronics of wide-band gap materials.

**Nosanov Nikolay Illyich** — a Ph. D. (Engineering), a Professor of the Electrical Engineering and Automation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of light sources of new generation, power diamond electronics, electrical safety, power supply of residential, public and administrative buildings.

**Romanova Tatyana Ivanovna** — an M. Ph. (Engineering), a teaching fellow of the Electrical Engineering and Automation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of light sources of new generation, energy conservation and electrical safety in municipal housing and communal facilities.

УДК 66.096.8

**А. С. ТОЛСТЫХ, И. Д. РОМАНЕНКО, Е. И. КОВАЛЕВА, Г. А. РОМАНЕНКО, К. А. ЖЕЛЕЗНЯК**

Донецкий национальный университет экономики и торговли

## **УЛАВЛИВАНИЕ ДИОКСИДА СЕРЫ В ПЕННЫХ АБСОРБЕРАХ**

В статье показаны результаты экспериментов по обезвреживанию диоксида серы методом щелочной абсорбции в различных конструкциях пенных абсорберах с применением разных типов абсорбентов. Рассмотрена динамика улавливания сернистого ангидрида при различных режимах протекания процесса абсорбции.

**диоксиды серы, пенный аппарат, абсорбция, абсорбционная способность, степень очистки газовой смеси**

Проблема загрязнения окружающей среды химическими вредностями стоит по-прежнему достаточно остро. Особое место, благодаря значительному валовому выбросу и вредным свойствам, занимает диоксид серы (сернистый ангидрид). Данное вещество отрицательно воздействует на организм человека, флору и фауну, обладает сильными коррозионными свойствами, в связи с чем губительно действует на металлические конструкции зданий и сооружений, нанося значительный ущерб материальным ценностям.

Кроме того, диоксид серы, соединяясь с влагой, образует серную кислоту, которая разрушает легочную ткань человека и животных. Особенно четко эта связь прослеживается при анализе детской легочной патологии и степени концентрации диоксида серы в атмосфере крупных городов. Согласно исследованиям американских ученых, при уровне загрязнения  $SO_2$  до 0,049 мг/м<sup>3</sup> показатель заболеваемости (в человеко-днях) населения Нэшвилла (США) составлял 8,1 %, при 0,150–0,349 мг/м<sup>3</sup> – 12, и в районах с загрязнением воздуха выше 0,350 мг/м<sup>3</sup> – 43,8 %. Особенno опасен диоксид серы, когда он осаждается на пылинках и в этом виде проникает глубоко в дыхательные пути.

Промышленное производство диоксиды серы, в основном, выделяет при сжигании органического топлива, содержащего серу. Основными «производителями»  $SO_2$  являются энергетика, металлургические и машиностроительные предприятия, а также нефтехимическая промышленность.

Методы и способы очистки диоксида серы разрабатываются отечественной и зарубежной наукой и промышленностью уже достаточно давно. Среди существующих следует выделить мокрые (без утилизации серы, циклические с утилизацией серы, с получением новых серосодержащих химических веществ) и сухие (с аналогичной классификацией процессов очистки газа от сернистого ангидрида).

Однако необходимо отметить, что универсального метода, подходящего для любого типа производства, не существует. Так, для очистки сернистых газов на нефтеперерабатывающих предприятиях определенный интерес представляет мокрая очистка, в частности, в пенных аппаратах.

Одной из основных задач при разработке технологии абсорбции загрязненного газа в пенном аппарате является подбор такого гидродинамического режима, который обеспечивает наиболее развитую поверхность контакта газовой и жидкой фазы и, как следствие, позволяет проводить процесс извлечения вредностей из газа с высокой эффективностью, что позволяют сделать пенные аппараты. Кроме этого, пенные фильтры также имеют и другие положительные качества – небольшие габариты, простое технологическое оформление и др.

Область применения пенных аппаратов в промышленности может быть весьма разнообразна: они могут использоваться для таких процессов, как абсорбция и десорбция газов, пылеулавливание, очистка дымовых газов, туманоулавливание и др.

Пенные аппараты, применяемые в качестве абсорбиров, представляют собой колонку прямоуголь-

ного или круглого сечения с горизонтально расположенной полкой-решеткой. Различают одно-, двух- и более полочные аппараты. Число устанавливаемых полок-решеток и форма днища зависит от технологического назначения аппарата.

Полкой является перфорированный лист с равномерно расположеными отверстиями, сумма площадей которых, т. е. свободное сечение, обычно составляет от 10 до 40 % общей площади полки. Диаметры отверстий решетки 2–4 мм и более, а расстояние между центрами рядом расположенных отверстий (шаг) – 5–8 мм.

Создавая в аппарате скорость поступающего через диффузор газа в пределах 0,5–3,5 м/с, можно выйти на пенный режим посредством кинетического воздействия на всю газожидкостную систему. При этом жидкость, через приемную коробку попадая на решетку в виде подвижной пены, разрушается в сливном коробе-пеногасителе и через трубопровод удаляется из аппарата.

Высоту движущейся по решетке пены можно изменять в пределах от 30 до 500 мм за счет высоты установленного порога, изменения скорости газа и количества подаваемой на полку жидкости. Очищенный газ выходит через штуцер в верхней части аппарата, а жидкость, уловившая вредную примесь в газе, частично сливается в виде утечки через бункер и штуцер в нижней части аппарата, основная же часть в виде пены – через сливной короб.

Целью настоящего исследования являлась проверка возможности применения пенного аппарата для двуокиси серы из отходящих технологических газов.

Опыты проводились на одно-, двух- и пилотном трехполочном образцах пенных аппаратов.

Для проведения экспериментов на двуокиси серы предварительно был подобран оптимальный гидродинамический режим работы пенного аппарата на системе воздух–вода. Опытным путем было установлено, что наиболее устойчивая пена получается при скорости газовоздушной смеси, равной 2–3 м/с. В случае использования различных химических реагентов для улавливания двуокиси серы, скорость газа может варьироваться в определенных пределах с целью оптимизации процесса очистки.

Работа осуществлялась по следующей схеме: диоксид серы из баллона через редуктор направлялся в смеситель, куда подавался воздух от компрессора.

Скорость газовоздушной смеси принималась равной скорости воздуха и замерялась ротаметром. Из смесителя газовоздушная смесь подавалась под решетку пенного аппарата и, вспенивая абсорбент, отводилась через верхнюю часть аппарата. Абсорбент поступал из напорного сосуда на полку, откуда в виде пены через сливной порог отводился из аппарата.

По аналогичной схеме на одно- и двухполочных аппаратах проводилось улавливание двуокиси серы на отходящих промышленных газах на установке по сульфированию углеводородных фракций, а на трехполочной – воздух просасывался вентилятором.

В качестве абсорбентов испытывались дикумилметан, триэтаноламин, 4 и 8 % растворы едкого натра, водный раствор 3–5 % – ной кальцинированной соды и заводские щелочные остатки, содержащие около 17 % натриевых солей нафтеновых кислот.

Абсорбционная особенность поглотителя или степень абсорбции определялась как отношение разности начальной и конечной концентрации двуокиси серы к ее начальной концентрации.

Опыты по улавливанию двуокиси серы проводились при следующих условиях: температура опытов 15–35 °С, скорость газовоздушной смеси 0,6–3,7 м/с.

Высота слоя жидкости на полке 7–10 мм, начальная концентрация двуокиси серы в газовоздушной смеси от 0,206–1,000 %.

Результаты опытов приведены в таблице 1.

Из таблицы видно, что такие поглотители, как дикумилметан и триэтаноламин, оказались малоэффективными.

Более высокая степень очистки была получена с применением 5,8 % раствора кальцинированной соды, 8 % раствора едкого натра, которые обеспечивают улавливание диоксида серы до 98,9 %. Наиболее эффективными оказались заводские щелочные остатки.

Потребное количество щелочных остатков в виде их водных растворов было рассчитано, исходя из молярности растворов по реакции нейтрализации двуокиси серы.

Из приведенных табличных данных также следует, что на однополочной модели удалось достичь степени абсорбции двуокиси серы до 87,7–90,0 %, на двухполочной 92,7–95,7 % и на трехполочной 99,5–99,9 %.

В случае применения двух- и трехполочного образца пенного аппарата и таких химреактивов, как

Таблица 1 – Эффективность улавливания диоксида серы в пенных аппаратах

Наименование поглотителя	Условия опытов				Концентрация диоксида серы		Степень абсорбции
	скорость ГВС, м/с	расход ГВС, м/с	время опыта	температура, °C	на входе в аппарат	на выходе из аппарата	
Однополочный аппарат							
Дикумилметан	2,9	14,5	20	16	0,3500	0,2100	40,0
-/-	2,9	14,5	20	16	0,3500	0,2200	37,1
Тримстаноламин	2,6	13,1	13	17	0,9800	0,2500	74,5
-/-	2,6	13,1	10	17	0,5900	0,2100	64,5
Кальцинир. сода 5,3 % водн. р-р	2,0	10,0	30	16	0,2270	0,0227	90,0
Кальцинированная сода 5,3 % водный раствор	2,0	10,0	30	16	0,2270	0,0227	90,0
Едкий натр, 4 % водный раствор	2,0	10,0	20	17	0,2070	0,0290	85,9
Едкий натр, 8 % водный раствор	2,0	10,0	20	15	0,2620	0,0320	87,7
-/-	2,0	10,0	20	15	0,2620	0,0390	85,1
Двухполочный аппарат							
Едкий натр, 8 % водный раствор	3,5	17,6	30	16	0,3190	0,0137	95,7
-/-	3,5	17,6	32	16	0,4280	0,0200	95,3
Кальцинированная сода 5,3 % водный раствор	3,7	18,7	60	16	0,2100	0,0160	92,3
-/-	3,7	18,7	60	16	0,2060	0,0150	92,7
Трехполочный аппарат							
Заводские щелочные остатки	0,6	500	75	30	1,0000	0,0006	99,9
-/-	0,7	500	75	35	0,1970	0,0010	99,5
-/-	0,9	612	75	30	0,4820	0,0029	99,1

водный раствор кальцинированной соды – 5,3 %, едкого натра 4 и 8 % и заводских щелочных остатков, улавливание двуокиси серы из промышленного отходящего газа составляло 92,3–99,9 %. При этом содержание двуокиси серы на выходе из пенного аппарата составило 0,0160–0,0006 %.

Таким образом установлено, что улавливание двуокиси серы можно осуществить подключением к технологической установке пенного аппарата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смола В. И. Защита атмосферы от двуокиси серы / Смола В. И., Кельцев Н. В. — М. : Металлургия, 1976. — 255 с.
2. Hagen-Smith A. J. Chemistry and Physiology of Los-Angeles Smog / Hagen-Smith A. J. — Industrial and Engineering Chemistry, 2002, № 5.
3. Kuroba H. Advanced flue gas pollutant control / Kuroba H. — Mod. Power Syst., 2005, v. 4, № 9.
4. Vos H. Rauchgasreinigung-angewandte Verfahren und Entwicklungen / Vos H. — Techn. Mif., 2005, v. 75, № 9.
5. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива: [моногр.] / И. Я. Сигал. — Л.: Недра, 1988. — 312 с.

Получено 01.10.2010

А. С. ТОЛСТИХ, І. Д. РОМАНЕНКО, Е. І. КОВАЛЬОВА, Г. А. РОМАНЕНКО,  
К. О. ЖЕЛЕЗНЯК  
УЛОВЛЮВАННЯ ДІОКСИДУ СІРКИ В ПІННИХ АБСОРБЕРАХ  
Донецький національний університет економіки і торгівлі

У статті показані результати експериментів зі знешкодження діоксиду сірки методом лужної аборбції в різних конструкціях пінних аборберів із застосуванням різних типів аборбентів. Розглянута динаміка уловлювання сірчистого ангідриду при різних режимах протікання процесу аборбції.  
**діоксиди сірки, пінний апарат, аборбція, здатність аборбції, ступінь очищення газової суміші**

A. S. TOLSTYKH, I. D. ROMANENKO, E. I. KOVALYOVА, G. A. ROMANENKO,  
K. A. ZHELEZNYAK  
SULPHUR DIOXIDE PRECIPITATION IN FOAMY ABSORBERS  
Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade

The paper has demonstrated the results of the experiments on the sulphur dioxide neutralization by the method of alkaline absorption in various structures of foamy absorbers with different types of absorbents. The dynamics of sulfurous anhydride precipitation at different modes of absorption process running have been considered.

**sulphur dioxides, foaming device, absorption, absorption capacity, gas mixture separation efficiency**

**Толстих Андрій Станіславович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: очищення технологічних газів, які відходять, від пилу і хімічних шкідливостей.

**Романенко Іда Дмитрівна** — старший викладач кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: дослідження процесів гідродинаміки в екологічних розрахунках.

**Ковальова Єлизавета Іванівна** — кандидат медичних наук, доцент кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: біологічні наслідки впливу екологічного становища на організм людини.

**Романенко Георгій Артурович** — студент Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: екологічний моніторинг.

**Железняк Кристина Олександровна** — студентка Донецького національного університету економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: екологічний моніторинг.

**Толстых Андрей Станиславович** — кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: очистка отходящих технологических газов от пыли и химических вредностей.

**Романенко Ида Дмитриевна** — старший преподаватель кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: исследование процессов гидродинамики в экологических расчетах.

**Ковалева Елизавета Ивановна** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: биологические последствия влияния экологической обстановки на организм человека.

**Романенко Георгий Артурович** — студент Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: экологический мониторинг.

**Железняк Кристина Александровна** — студентка Донецкого национального университета экономики и торговли. Научные интересы: экологический мониторинг.

**Tolstykh Andrey Stanislavovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Ecology and Physics Department of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: off-gas purification from dust and harmful chemicals.

**Romanenko Ida Dmitrievna** — a senior lecturer of the Ecology and Physics Department of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: study of hydrodynamics in ecological calculations.

**Kovalyova Elizaveta Ivanovna** — a Ph. D. (Medicine), an Assistant Professor of the Ecology and Physics Department of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: biological consequences of the ecological situation effect to the human organism.

**Romanenko Georgiy Arturovich** — an undergraduate student of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests: ecological monitoring.

**Zheleznyak Kristina Aleksandrovna** — an undergraduate student of the Donetsk Tugan-Baranovsky National University of Economics and Trade. Research interests ecological monitoring.

УДК 621.575

**З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВИЧ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТА ПЛЕНОЧНОГО ТИПА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ СТЕКОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Предложена схема комплексной установки для очистки газов и утилизации теплоты стекольного производства, базирующаяся на использовании контактно-поверхностного теплообменного аппарата с промежуточным пленочным теплоносителем. На основе результатов опытно-промышленных испытаний газоочистного теплоутилизирующего аппарата (ГОТУК) проанализирована эффективность очистки отходящих газов и утилизации теплоты.

**очистка газов, утилизация теплоты, стекольное производство, пленочный теплоноситель, теплообменный аппарат**

**Формулировка проблемы.** Анализ проблемы очистки высокотемпературных вентиляционных выбросов стекловаренных печей показал, что для обезвреживания газов целесообразно применять комплексную схему, позволяющую одновременно утилизировать вторичные тепловые ресурсы.

Стекловаренные печи ванного типа имеют низкий тепловой коэффициент полезного действия, составляющий 25–30 % [1, 2]. Основные потери теплоты имеют место с дымовыми газами, температура которых после регенераторов достигает 400–500 °C. Учитывая, что в этих газах содержится большое количество водяных паров (до 100 г/нм<sup>3</sup> сухого воздуха), их энталпия достигает высоких значений (900 кДж/нм<sup>3</sup>). Возможный потенциал тепловых ВЭР (вторичных энергоресурсов) вентиляционных выбросов стекловаренных печей составляет около 50 МДж при производстве 1 кг стеклоизделий. Поэтому вопрос утилизации этих тепловых ресурсов является весьма актуальным.

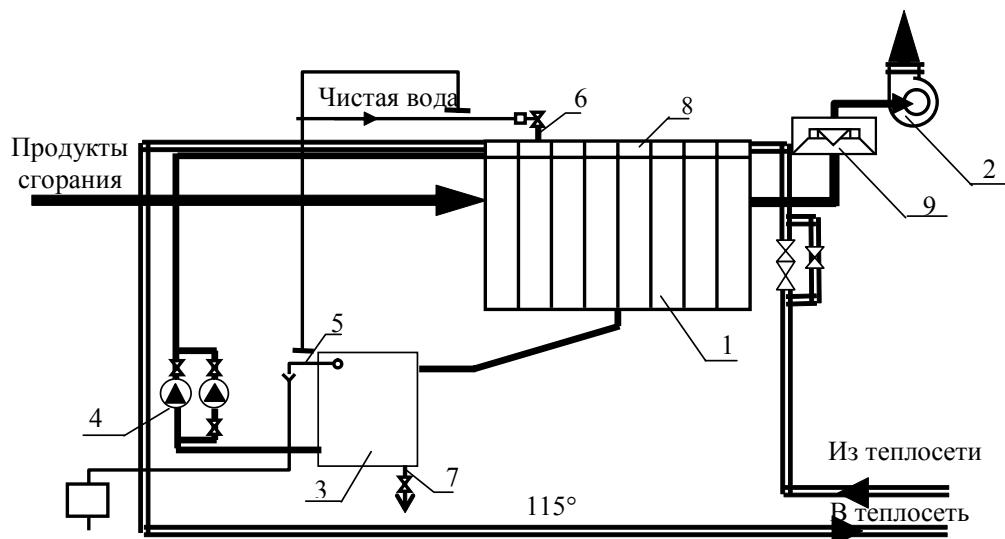
**Основной материал.** Глубокое использование теплоты отходящих газов в поверхностных теплообменниках в большинстве случаев технически неоправданно и экономически невыгодно вследствие их громоздкости и высокой стоимости. В связи с работой многих технологических агрегатов на природном газе, продукты сгорания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

Для использования теплоты газовых теплоносителей контактным способом применяются теплообменники с насадками, набираемыми из различных по форме элементов [3, 4]. Недостатком таких конструкций является то, что теплообмен происходит между стекающей по поверхности насадки пленкой жидкости и газами, движущимися в зазоре между элементами насадки. При работе на загрязненных газовых теплоносителях такие насадки с течением времени забиваются, и возрастает сопротивление теплообменника. Указанные недостатки исключаются в контактном теплообменнике, предложенном в [5–8].

Концептуальный подход к разработанной схеме очистки газов стекловаренных печей, соответствующий указанным требованиям, базируется на использовании промежуточного пленочного теплоносителя. Последний ассимилирует пылевые частицы, предотвращает их налипание на наружной теплообменной поверхности и интенсифицирует процесс теплообмена газов и конвективного трубного пучка.

Предложенная схема характеризуется высокой эффективностью очистки газов, надежностью аппаратурного оформления, низкими энергетическими затратами, возможностью использования установленных компонентов, незначительными капитальными и эксплуатационными затратами.

Она включает в себя следующие основные узлы: установка для очистки газов и утилизации теплоты контактного типа (ГОТУК); емкость для промежуточного теплоносителя; насосное оборудование для транспортировки промежуточного теплоносителя; дымосос. Принципиальная схема комплексной установки очистки газообразных выбросов приведена на рис. 1.



**Рисунок 1** – Схема газоочистной теплоутилизационной установки с аппаратом ГОТУК: 1 – контактно-поверхностный теплообменник (ГОТУК); 2 – дымосос; 3 – емкость для промежуточного теплоносителя; 4 – насос; 5 – сливной патрубок раствора NaOH; 6 – патрубок подачи чистой воды; 7 – патрубок удаления шлама; 8 – распределительная камера промежуточного теплоносителя; 9 – каплеуловитель.

Особенностью данного теплообменника является возможность его применения в газовых средах при температуре ниже точки росы, а также наличие самоочищающейся поверхности нагрева.

При температуре ниже 100 °С газы, а также пыль самовызываются поверхности нагрева. Отходящие дымовые газы отбираются перед отсечным шибером основного газохода печи и направляются в контактно-поверхностный теплообменник 1. Теплообменник секционный, вертикально-водотрубный с многократным перекрестно-противоточным ходом нагреваемой воды. Проходя через теплообменник, дымовые газы с температурой 500–530 °С охлаждаются до 100–115 °С и очищаются от пыли. При помощи дымососа 2 очищенные газы выбрасываются в атмосферу. Нагретая вода используется в качестве сетевой в системе теплоснабжения завода с расчетными параметрами 115–70 °С.

В верхней части теплообменника расположено распределительное устройство для промежуточного теплоносителя, проходя через которое теплоноситель попадает на наружную поверхность трубной насадки теплообменника и в виде тонкой пленки гравитационно стекает на нижнюю трубную доску аппарата. Самотек промежуточного теплоносителя осуществляется по контуру: распределительная емкость – распределительное устройство – трубная поверхность – приемная секция – распределительная емкость. Перекачка промежуточного теплоносителя осуществляется при помощи насоса 4. Пленочное течение промежуточного теплоносителя по наружной поверхности трубной насадки теплообменника обеспечивает защиту от коррозии и отложений мелкодисперсной пыли, содержащейся в дымовых газах.

В качестве промежуточного теплоносителя принят водный раствор  $\text{NaOH}$ . Отвод этого раствора производится через сливной патрубок 5 из емкости для промежуточного теплоносителя. В верхнюю распределительную камеру промежуточного теплоносителя 8 подается чистая вода в количестве, необходимом для растворения уловленной пыли за один период пребывания пленки жидкости в трубной зоне аппарата. Нерастворившийся шлам удаляется через патрубок 7.

Результаты опытно-промышленных испытаний аппарата ГОТУК в условиях Константиновского стекольного завода приведены в табл. 1-3.

**Таблиця 1** – Техніческі показатели роботи установки очистки вентиляціонних викидів скловаренної печі № 1

№ п/п	Показатель	Единицы измерения	Пределы изменения	Среднее значение
1	Объем очищаемых газов перед газоочисткой	тыс. м <sup>3</sup> /ч	49,76–70,34	64,73
		м <sup>3</sup> /с	16,42–19,54	17,98
2	Объем очищаемых газов при нормальных физических условиях	тыс. м <sup>3</sup> /ч	20,88–24,84	22,86
		м <sup>3</sup> /с	5,8–6,9	6,35
3	Аэродинамическое сопротивление аппарата ГОТУК	Па	529,6–574,2	551,9

**Таблиця 2** – Температурные и энергетические характеристики работы установки

№ п/п	Показатель	Единица измерений	Пределы изменения	Среднее значение
1	Температура газов: перед установкой после установки	°С	424–520	472
			117–121	119
2	Температура сетевой воды: перед установкой после установки	°С	62–70	66
			113–115	114
3	Расход сетевой воды	т/ч	33,5–51,8	42,7
4	Мощность утилизированных ВТЭР	кВт	1987–2717	2352
5	Расход воды для подпитки промежуточного теплоносителя	кг/ч	52,8–63,8	58,3

**Таблиця 3** – Показатели эффективности очистки вентиляционных викидів

№ п/п	Показатель	Единицы измерения	Пределы изменения	Среднее значение
1	Содержание в газах пыли: перед установкой после установки	мг/нм <sup>3</sup>	530–580	555
			50,3–55,1	52,7
2	Степень очистки газов от пыли	%	90,1–90,5	90,3
3	Количество уловленной пыли	кг/ч	10,0–13,2	11,6

Аналіз даних табл. 1–3 показує, що ступінь удалення пилу з газів досягає 90,5 % і в середньому становить 90,3 %. При початкових концентраціях пилу, що досягають 0,58 г/нм<sup>3</sup>, остаточне зміщення в викидних газах не перевищує 60 мг/нм<sup>3</sup>, що відповідає вимогам ПДК. Концентроване уловлювання NaOH дозволяє використовувати його в технологічному процесі виготовлення скла в якості додатку в шихту замість соди.

Нагрета до температури 110–115 °С сітева вода використовується для цілей горячого водопостачання заводу управління та виробничих цехів заводу. Годова вироблення теплової енергії становить 71 120 ГДж, що забезпечує економію близько 1 900 тис. м<sup>3</sup> природного газу.

Суммарные аэродинамические потери во всех элементах ГОТУК находятся в пределах 550–600 Па. Сравнение технических показателей разработанного аппарата с известными современными аналогичными устройствами свидетельствует о его преимуществе по вышеуказанным показателям.

Экономический эффект от внедрения разработанной теплоутилизационной системы достигается за счет предотвращенного экономического ущерба от загрязнения окружающей среды и утилизации вторичных тепловых ресурсов и NaOH.

**Выводы.** Утилизация ТВЭР приносит не только энергетический эффект, но является звеном модернизации технологического процесса, способствуя увеличению производительности и срока службы агрегатов, снижению вредных выбросов в окружающую среду. Внедрение теплоутилизационной установки позволяет увеличить межремонтный период работы стекловаренной печи за счет поддержания в ее рабочем пространстве постоянного заданного разрежения с помощью дымососа (снижение тяги дымовой трубы в теплый период года приводит к увеличению давления в печи и, как следствие, к зашлаковыванию регенераторов), что, естественно, увеличит выпуск продукции. Снижение температуры и загрязненности выбрасываемых продуктов сгорания благотворно сказывается на состоянии окружающей среды региона.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург Д. Б. Стекловаренные печи: [учебн. пособ. для вузов] / Д. Б. Гинзбург. – М. : Стройиздат, 1967. – 340 с.
2. Чехов О. С. Вопросы экологии в стекольном производстве / О. С. Чехов, В. И. Назаров, В. Г. Калыгин. – М. : Легпромбытиздан, 1990. – 142 с.
3. Горбенко В. А. Тепломассообменные и выпарные аппараты / Горбенко В. А., Ефимов А. Л. – М. : МЭИ, 1998. – 59 с.
4. Величко В. И. Интенсификации теплоотдачи и повышение энергетической эффективности конвективной поверхности теплообмена / Величко В. И., Пронин В. А. – М. : МЭИ, 1999. – 64 с.
5. Бородкин А. А Расчет тепломассообменных аппаратов / Бородкин А. А., Портнов В. Д., Сасин В. Я., Федоров В. Н. – М. : МЭИ, 1997. – 54 с.
6. Суслов В. А. Теплообмен на начальном участке трубы при нагревании падающей пленки жидкости. Т. 4. / Суслов В. А., Рижинавиши Г. В., Бойков В. Ю. – М. : МЭИ, 1998. – Т. 4. – С. 372–376.
7. Tanasawa I. Advances in condensation heat transfer / Tanasawa I. // Advances in Heat Transfer. – 1991. – Vol. 21. – P. 55–139.
8. Губарь В. Ф. Гидравлическое сопротивление газоочистного теплоутилизационного контактного аппарата / Губарь В. Ф., Дымнич А. Х., Удовиченко З. В. // Коммунальное хозяйство городов. – 2000. – Вып. 21. – С. 102–105.

Получено 01.09.2010

З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВІЧ  
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТА ПЛІВКОВОГО ТИПУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СКЛЯНОГО ВИРОБНИЦТВА  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Запропоновано схему комплексної установки для очистки газів та утилізації теплоти скляного виробництва, яка базується на використанні контактно - поверхневого теплообмінного апарату з проміжним плівковим теплоносієм. На основі результатів дослідно-промислових випробувань газоочисного теплоутилізуючого апарату (ГОТУК) проаналізована ефективність очистки відходячих газів та утилізації теплоти.

**очистка газів, утилізація теплоти, скляне виробництво, плівковий теплоносій, теплообмінний апарат**

Z. V. UDOVICHENKO, D. V. SAVICH  
EFFICIENCY APPLICATION OF FILM TYPE SYSTEM FOR GAS CLEANING AND  
HEAT UTILIZATION OF GLASS INDUSTRY  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The circuit design of the complex system for gas cleaning and heat utilization of glass industry based on the usage of a contact-surface heat-exchanger with intermediate film heat-carrier has been offered in the paper.

The off-gas cleaning and heat utilization efficiency have been analysed by the results of the commercial tests of the gas cleaning and heat utilizing device (GCHUD).

**gas cleaning, heat utilization, glass industry, film heat-carrier, heat-exchanger**

**Удовиченко Злата Вікторівна** — к.т.н., доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Інститут міського господарства і охорони довкілля. Наукові інтереси: енергозберігаючі технології в системах ТГВ, підвищення ефективності експлуатації систем газопостачання.

**Савіч Дарина Володимирівна** — аспірант кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Інститут міського господарства і охорони довкілля. Магістр будівництва. Наукові інтереси: енергозберігаючі технології в системах ТГВ.

**Удовиченко Злата Вікторовна** — к.т.н., доцент кафедри «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Институт городского хозяйства и охраны окружающей среды. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах ТГВ, повышение эффективности эксплуатации систем газоснабжения.

**Савич Дарья Владимировна** — аспирант кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Институт городского хозяйства и охраны окружающей среды. Магистр строительства. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах ТГВ.

**Udovichenko Zlata Viktorovna** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation processes in the heating, gas supply and ventilation systems, operating efficiency of improving the gas supply systems.

**Savych Darya Vladimirovna** — an M. Ph. (Engineering), a postgraduate student of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. The Municipal Economy and Environmental Protection Institution. Research interests: energy conservation processes in heating, gas supply and ventilation systems.

УДК 725.38

**Т. М. ТКАЧЕНКО, І. В. БУГАЙОВА**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

## **РАЦІОНАЛЬНА ЗАБУДОВА МАЛИХ АВТОПІДПРИЄМСТВ ЯК ШЛЯХ ДО ПОЛІПШЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

У статті наведені відомості про негативний вплив малих автотранспортних підприємств на навколошнє природне середовище та здоров'я людини. Відзначається, що при міському будівництві малі АТП повинні бути відокремлені від житлової зони санітарною захисною зоною. Крім цього, на території самих АТП повинні проводитися технічні заходи, спрямовані на зниження їх шкідливого впливу. **мале автотранспортне підприємство, шкідливі викиди, навколошнє природне середовище, санітарна захисна зона**

**Формулювання проблеми.** Щільність викидів пилу і газів в Донецькій області в шість разів більше, ніж у середньому по Україні. Місто Макіївка робить великий внесок до погіршення екологічної ситуації в області [2]. І пов'язано це зі зростанням кількості автомобільного транспорту.

В індустріальних мегаполісах автомобілі особистого користування з предметів розкоші переходять в розряд необхідних засобів пересування, разом з цим збільшується кількість автомагістралей та АТП (автотранспортних підприємств). Тому в наш час гостро стоїть проблема будівництва стосовно планування та забудови міст, бо більшість мешканців страждає від доріг, які знаходяться поблизу їх житла.

За існуючими на сьогоднішній день будівельними нормами [1] селітебна зона повинна бути відокремлена від промислової. Особливо це актуально в промислових мегаполісах з сильним техногенним та шумовим навантаженням. На жаль, ці вимоги не завжди виконуються. І якщо великі промислові й автотранспортні підприємства ще прагнуть відокремити від селітебної зони, то автостоянки, гаражі, заправки перебувають у межах селітебної зони, завдаючи шкоди навколошному середовищу і здоров'ю людини. Пояснюється це тим, що в даний час кількість автомобілів та АТП зростає з кожним днем. Разом з цим збільшується і обсяг відпрацьованих газів в атмосфері, наприклад таких, як діоксид азоту, оксид вуглецю і вуглеводні граничні. Забруднення повітряного басейну викидами автомобіля завдає економічної шкоди суспільству, шкодить здоров'ю населення та негативно впливає на рослинний світ, тому буде рентабельно вжити заходи щодо поліпшення ситуації, що склалася. Одним з найліпших методів є планувальний: озеленення населених місць, видалення житлових будинків від магістралей, раціональна забудова мікрорайонів, тобто раціональне будівництво житлових будинків є дуже важливим для здоров'я населення [3].

**Мета.** Метою роботи є аналіз викидів громадського автотранспорту в навколошнє природне середовище і розробка планувальних заходів щодо поліпшення екологічної ситуації.

Головними **завданнями** роботи є:

1. Аналіз впливу викидів автотранспорту на навколошнє природне середовище та на здоров'я населення.

2. Розрахунок обсягу речовин, що викидаються на даній території.

3. Розробка заходів щодо поліпшення екологічної ситуації, в основному планувальних.

**Аналіз останніх публікацій.** Встановлено, що відпрацьовані гази автомобільного транспорту являють собою складну суміш, що складається з понад 200 компонентів. Основні компоненти відпрацьованих газів та їх вплив на людину вказані в таблиці 1 [4].

Домішки відпрацьованих газів справляють на людину прямий і непрямий вплив.

Таблиця 1 – Компоненти відпрацьованих газів та їх вплив на людину

№ групи	Шкідливі речовини	Вплив на людину
1	Азот, кисень, водень, водяна пара, вуглевисний газ (у незначній кількості)	Не представляє небезпеки для людини
2	Окис вуглецю(CO)	
3	Окисли азоту( $\text{NO}$ и $\text{NO}_x$ )	
4	Вуглеводні (алкани, алкени, алкадієни, ціклани і ароматичні з'єднання)	
5	Альдегіди (формальдегід, аліфотичні альдегіди і ароматичні альдегіди)	Шкідливі для здоров'я людини та навколошнього середовища
6	Сажа	
7	Метали (свинець)	
8	Продукти зносу шин	

Прямий вплив здійснюється через атмосферне повітря за наступною схемою:

АВТОТРАНСПОРТ -----► АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ -----► ЛЮДИНА

Шкідливі компоненти відпрацьованих газів викидаються в атмосферне повітря і надходять в організм людини через органи дихання.

Непрямий вплив здійснюється не тільки через повітря, а й через ґрунт, рослини. Тобто шкідливі компоненти відпрацьованих газів з атмосферного повітря не тільки потрапляють в організм людини, але й осідають в ґрунті і на рослинах. У той же час рослини, забруднені шкідливими компонентами автомобільних викидів безпосередньо з повітря або ґрунту, вживаються людиною в їжу. Можливо потрапляння шкідливих речовин в організм людини з ґрунту (через повітря в органи дихання, через брудні руки і продукти харчування в органі травлення).

Непрямий вплив на людину поряд з прямим найбільш характерно для свинцю, інших металів і канцерогенних вуглеводнів, що містяться у відпрацьованих газах автомашин.

Тому весь комплекс заходів з охорони навколошнього середовища і захист здоров'я населення від впливу автомобільного транспорту повинен бути спрямований на вищевказані три ланки.

**Основний матеріал.** Об'єктом дослідження є гараж ТОВ «Магістраль», який знаходиться в місті Макіївка, у мікрорайоні Зелений. Існує гараж з 2002 року, а до цього часу на території існувало АТП. Площа, яку займає ТОВ «Магістраль», становить 20 000 м<sup>2</sup>. Мета гаража: зберігання автомобілів, кількість яких на сьогодні досягла 78 шт. Весь транспорт – це пасажирські легкові автомобілі, тобто маршрутки. Середньодобовий час внутрішньогаражних роз'їздів – 15 хвилин. Річна кількість днів роботи гаража складає 300 днів за рік. Коефіцієнт випуску автомобілів на лінію дорівнює 90 %. Автомобілі гаража заправляють одним видом палива – стисненим газом метаном. ТОВ «Магістраль» знаходиться в житловому районі, поблизу розташовані багатоповерхові будинки.

Методом дослідження є програма «Гараж 2004», яка дозволяє провести розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферу від парково-гаражних роз'їздів автомобілів. Програма складена за методикою: «Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності» [5]. В результаті розрахунків ми отримуємо такі дані: азоту двоокис 0,002 т/рік, вуглецю окис 0,011 т/рік, вуглеводні граничні 0,004 т/рік.

Ці речовини несприятливо впливають на людину і природу, тому необхідно проводити заходи для поліпшення екологічної ситуації. Головні з них – планувальні [7].

З метою зменшення шкідливого впливу відпрацьованих газів автомашин на здоров'я населення необхідне здійснення різних заходів в багатьох сферах діяльності:

1. Технологічні:
- 1) Удосконалення конструкції двигуна.

- 2) Поліпшення технічного стану автомобінів.
- 3) Використання високоякісного палива.
- 4) Очищення відпрацьованих газів (допалювання, нейтралізація).

2. Планувальні:

- 1) Озеленення населених місць.
- 2) Віддалення житлових будинків від магістралей.
- 3) Раціональна забудова мікрорайонів.

3. Організаційні:

- 1) Контроль за швидкістю руху автотранспорту.
- 2) Ліквідація перехресть (улаштування підземних переходів і автотранспортних розв'язок).
- 3) Контроль за складом відпрацьованих газів.
- 4) Впровадження екологічного менеджменту.

Планувальні заходи є найбільш ефективними, тому ми пропонуємо в галузі планування і забудови міст: улаштування спеціалізованих позавуличних автомобільних доріг переважно для вантажного руху, а також «безавтомобільних зон» із забороною проїзду і стоянок автомобінів, створення автодорожніх тунелів, естакад, підземних пішохідних шляхів на ділянках транспортних перетинів з найбільш напруженим рухом тощо.

Нами ж запропоновано комплекс заходів з охорони навколошнього середовища і захист здоров'я населення від впливу автомобільного транспорту, заснований на «теорії трьох ланок»: джерело забруднень — автотранспорт, механізм (або шлях) передачі — атмосферне повітря (а також ґрунт і рослини) і сприйнятливий до відпрацьованих газів організм — людина. Це — розрив механізму (або шляхів) передачі шкідливих речовин від автотранспортних засобів до організму людини:

1. Захист відстанню:

- розміщення житла на відстані 15—40 і більше метрів від автомагістралей та АТП з інтенсивним рухом автотранспортних засобів;
- винесення автомагістралей з транзитним рухом автомобінів за межі житлової забудови населених пунктів;
- виїзд населення (дорослих і дітей) щорічно в період відпусток і щотижня у вихідні дні з населених місць з інтенсивним рухом автотранспорту в райони, які віддалені від транспортних та інших джерел забруднення атмосферного повітря.

2. Захист екрануванням:

- улаштування між автотранспортними магістралями і житловими, громадськими будинками смуг зелених насаджень, що складаються з дерев і чагарників;
- створення смуг зелених насаджень між проїзною частиною вулиць та пішохідними тротуарами;
- розміщення між автомагістралями з інтенсивним рухом і багатоповерховими житловими будинками, дитячими та лікувально-профілактичними установами житлових будинків малої поверховості, а також торгівельних, адміністративних та культурно-побутових будівель;
- раціональне внутрішньоквартальне озеленення, створення зелених насаджень навколо житлових будинків [8].

В даному випадку ТОВ «Магістраль» є одним з тих підприємств, що потребує певних заходів для покращення здоров'я населення, яке мешкає поблизу. Найбільш реально буде створити між автотранспортним підприємством і житловими, громадськими будинками смуги зелених насаджень, що складаються з дерев і чагарників. При побудові інших АТП в майбутньому треба враховувати значення СЗЗ (санітарно-захисної зони).

**Висновки.** Експериментально встановлено, що автомобілями ТОВ «Магістраль» в атмосферу викидаються такі речовини як діоксид азоту, оксид вуглецю і вуглеводні граничні.

З метою зменшення шкідливого впливу відпрацьованих газів автомобінів на здоров'я населення розроблені заходи в багатьох сферах діяльності. Основні з них планувальні.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кусков А.Е. Безпосність жизнедеяльності / Кусков А.Е., Ляшенко Л.А. — изд-во ДонГАУ, 2002. — 199 с.
2. Саган Ю. Екологія повинна бути ефективною / Юрий Саган. // Донецкий кряж. — 2006. — № 38. — С. 5 Рубрики: Екологія Донбаса.
3. Доклад о состоянии окружающей природной среды города Донецка в 2004—2005 гг. Под редакцией Донецкого городского головы А.А. Лукьянченко. — Донецк, 2006. — 112 с.

4. Губернский Ю. Автомобильный транспорт и охрана окружающей среды крупных городов / М. Дмитриев, Ю. Губернский. — 1999. — № 1. — С. 31—32.
5. Методика разрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності / зі змінами/. Затверджена наказом Держкомстату від 06.09.2000 р. № 293.
6. Фельдман Ю.Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха / Юрий Германович Фельдман. — М. : 1995. — С. 134—143.
7. Астанин Л. П. Охрана природы / Астанин Л. П., Благосклонов К. Н. — М. : 1984. — С. 54—55.
8. Лисичкина Г.В. Человек и среда его обитания / Г. В. Лисичкина, Н. Н. Чернова. — М. : Мир, 2003. — 158 с.

Отримано 20.09.2010

Т. Н. ТКАЧЕНКО, И. В. БУГАЕВА  
РАЦИОНАЛЬНАЯ ЗАСТРОЙКА МАЛЫХ АВТОПРЕДПРИЯТИЙ КАК ПУТЬ К  
УЛУЧШЕНИЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

В статье приведены сведения об отрицательном влиянии малых автотранспортных предприятий на окружающую среду и здоровье человека. Отмечается, что при городском строительстве малые АТП должны быть отделены от жилой зоны санитарной защитной зоной. Кроме этого, на территории самих АТП должны проводиться технические мероприятия, направленные на снижение их вредного воздействия.

**малое автотранспортное предприятие, вредные выбросы, окружающая среда, санитарная защитная зона**

Т. Н. TKACHENKO, I. V. BUGAYOVA  
RATIONAL DEVELOPMENT OF SMALL-SCALE MOTOR TRANSPORT  
ENTERPRISES FOR ENVIRONMENT IMPROVEMENT  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This article provides the information about the negative impact of small-scale motor transport enterprises on the environment and human health. Small-scale MTEs have been pointed out to be separated from residential zones by protection zones at the municipal construction. In addition, MTEs have to carry out procedures and techniques aimed to reduction of their harmful effects.

**small-scale motor transport enterprise, emissions, environment, sanitary protection zone**

**Ткаченко Тетяна Миколаївна** — кандидат біологічних наук, доцент кафедри «Прикладна екологія та хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення впливу фітодизайну на мікроклімат інтер'єрів.

**Бугайова Інна Василівна** — бакалавр кафедри «Прикладна екологія та хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення впливу малих автотранспортних підприємств на навколишнє природне середовище. Розробка заходів щодо зниження шкідливих викидів.

**Ткаченко Татьяна Николаевна** — кандидат биологических наук, доцент кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение влияния фитодизайна на микроклимат интерьеров.

**Бугаева Инна Васильевна** — бакалавр кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение влияния малых автотранспортных предприятий на окружающую природную среду. Разработка мероприятий по снижению вредных выбросов.

**Tkachenko Tatyana Nikolayevna** — a Ph. D. (Biology), an Assistant Professor of the Applied Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: study of phytodesigning effect on the microclimate of interiors.

**Bugaeva Inna Vasilyevna** — a B. Ph. (Engineering), a teaching fellow of the Applied Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: study of small-scale motor transport enterprises on the environment, development of measures to emissions reduction.

УДК 620.21

**О. В. ЛУК'ЯНОВ, С. І. МОНАХ, Д. В. ВИБОРНОВ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

## **ШАХТНІ ВОДИ ЯК ДЖЕРЕЛО ТЕПЛОТИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Проаналізовано стан паливно-енергетичного сектора, доведено необхідність впровадження теплових насосів та інших теплогенераторів, що використовують теплову енергію низькотемпературних джерел енергії в якості альтернативи традиційним теплогенераторним установкам. Пропонуються варіанти встановлення приймального контура теплонасосних установок для вилучення теплоти шахтних скидних вод в залежності від схем відкачки.

**енергоефективність, теплова схема, геотермальний тепловий насос, приймальний контур, теплообмінник, циркуляція**

В останній час стурбовані щодо паливно-енергетичної ситуації люди, більш-менш зацікавлені в своєму майбутньому комфорті, шукають гідну альтернативу традиційним видам теплогенерації. Україна належить до країн частково забезпечених традиційними видами первинної енергії, але змушені удаватися до іншого імпорту. Енергетична залежність України від поставок органічного палива, з обліком умовно-первинної ядерної енергії, в 2000 і 2005 роках становила 60,7 %, країн ЄС – 51 %. Подібною або близькою до української є енергозалежність таких розвинених країн Європи, як Німеччина – 61,4 %, Франція – 50,0 %, Австрія – 64,7 %. Багато країн світу мають значно нижчі показники забезпечення власними первинними паливно-енергетичними ресурсами, зокрема, Японія використовує їх близько 7 %, Італія – близько 18 %. [1] Рівень енергозалежності України є середньоєвропейським і має тенденцію до зменшення (з 60,7 % в 2004 році до 54,8 % в 2005 році), але він характеризується відсутністю диверсифікованості джерел поставок енергоносіїв, насамперед нафти, природного газу і ядерного палива.

У зв'язку з ситуацією, що склалася в країні, реалізація можливостей науково-технічного прогресу в системах тепlopостачання повинна забезпечити вирішення наступних проблем їх технологічного розвитку: подальший розвиток виробництва, передачі і розподілу теплової енергії на базі ефективного використання паливних ресурсів і можливостей вітчизняного енергомашинобудування; впровадження теплоенергетичного і електротехнічного устаткування, які відповідають вимогам надійності, ефективності і екологічності; забезпечення комплексної автоматизації технологічних процесів виробництва, транспортування і розподілу теплової енергії; створення інформаційно-керуючих систем тепlopостачання.

Реалізація енергозберігаючих заходів у секторі споживання передбачає перехід на сучасні норми і стандарти у цивільному будівництві, у першу чергу, у сфері будівництва і реконструкції житлового фонду, у всіх галузях промисловості. Головним напрямком розвитку систем генерації, транспорту і розподілу тепла повинне стати зниження рівнів споживання природного газу за рахунок підвищення ефективності його використання, і, як доповнення, розвиток систем тепlopостачання на базі позабалансових, нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії, вторинних енергетичних ресурсів, природних теплових ресурсів та т. ін. З огляду на вищевикладене, можна зробити висновок, що, по-перше, попит на теплову енергію має тенденцію на збільшення, причому дуже різке; по-друге, ціни на традиційні джерела паливно-енергетичної промисловості будуть невпинно зростати, що зробить дешво «екзотичні» джерела теплової енергії на зразок повітряних електростанцій, геліосистем або теплових насосів більш поширеними та економічно виправданими. Також неабияке значення має той факт, що більшість теплових систем морально застарілі, обладнання працює з неймовірно низькими показниками надійності, екологічності та ефективності [2, 3]. При реконструкції деяких теплових

© О. В. Лук'янов, С. І. Монах, Д. В. Виборнов, 2010

схем доцільно було б включити до їх складу теплогенератори, що використовують нетрадиційне паливо, зокрема, геотермальні теплові насоси (ГТН).

Великим недоліком теплових насосів, що працюють на ґрунтових водах, є висока вартість робіт з монтажу водозабору. Крім того, слід ураховувати вимоги, часом досить жорсткі, місцевих адміністрацій у питаннях організації скидних вод.

У якості низькотемпературного джерела теплоти, яке може бути утилізовано на шахтах, виступають ґрунтові води, яким властива відносно висока і стабільна температура на протязі року. Основні обмеження тут, як правило, можуть становити відстань транспортування і фактичні ресурси, обсяг яких може змінюватися. Причому слід зазначити, що відкачка проводиться як на функціонуючих шахтах, так і на недіючих (для запобігання безконтрольного перетікання ґрунтових шахтних вод у сусідні водяні басейни, затоплення житлових селищ і сільгоспугідь).

Одним з основних параметрів, згідно з [4], які впливають на тип встановлюваного теплового насоса, є склад гріючого теплоносія.

Протокол виміру складу природних і скидних вод за січень 2010 р. наведено в таблиці 1.

Після зіставлення даних протоколу та рекомендацій фірми Viessmann щодо вибору теплообмінного контуру можна зробити висновки, що в даному випадку задовільнить всім вимогам змійовик з неіржавіючої сталі.

**Таблиця 1** – Протокол виміру складу природних і скидних вод шахти «Южнодонбасская № 1»  
м. Угледара

Найменування інгредієнта	Зміст
Характер проби	Разова
Характер виміру	Повний
Кількість води в пробі, л	4
Температура води в момент відбору, °C	10
Запах натуляральних стічних вод (у балах)	–
Прозорість у см за Снеленом	10,0
Зважені речовини, мг/л	28,0
Сухий залишок при 105 °C, мг/л	2278,0
Титрирна лужність у мг/екв/л	11,0
Реакція РН	8,35
Хлориди (Cl), мг/л	507,0
Сульфати, (SO <sub>4</sub> ), мг/л	625,0
Залізо заг, мг/л	0,280
Залізо (ІІІ), мг/л	–
Іон амонію, мг/л	0,444
Іон нітрати, мг/л	1,905
Іон нітрати, мг/л	0,264
Жорсткість, мг-екв/л	12,8
Кальцій, мг/л	–
Магній, мг/л	–
Окиснюваність, мг/л	–
БСК5, мг/л	5,31
ХСК (хімічне споживання кисню)	25,7
Феноли, мг/л	0,001
Нафтопродукти, мг/л	0,1
Фосфати, мг/л	2,604
СПАР, мг/л	–
Розчинений кисень, мг/л	8,4
Кадмій, мг/л	–
Свинець, мг/л	–
Ртуть, мг/л	–
Мідь, мг/л	–

Приймальні пристрій теплових насосів (ТН) найбільше раціонально було б встановлювати в накопичувальних ємностях, розташованих на водовідливних обріях. Там вода, яку буде згодом відкачано, має найбільш високу температуру, тому що надходить безпосередньо з водоносних шарів і стічних каналів на обріях. При такому способі установки ТН безпосередньо на водовідливних обріях можна запропонувати два варіанти конструкції тепlopриймального пристрою в накопичувальних ємностях.

У першому варіанті в накопичувальній ємності встановлюється змійовик з теплоносієм, який буде відбирати теплоту від води до того, як її буде відкачано на поверхню. У цьому випадку виникнуть деякі труднощі. Як було сказано вище, шахтні води містять досить велику кількість зважених твердих речовин, тому прийомні ємності на практиці замулюються на 30 %, а іноді навіть на 70 %. Отже, виникає необхідність у періодичному чищенні, якому буде заважати вбудований теплообмінник ТН. Деякими авторами були запропоновані заходи щодо оптимізації роботи водозбірників, які полягають у зміні їх конструкції таким чином, щоб у придонній зоні утворювалися струминні течії зі швидкостями потоків, близькими до критичних. Таким чином водозбірник не буде замулюватися, що, у свою чергу, створить сприятливі умови для розміщення в ньому змійовика тепlopриймального пристрою, як показано на рисунку 1.

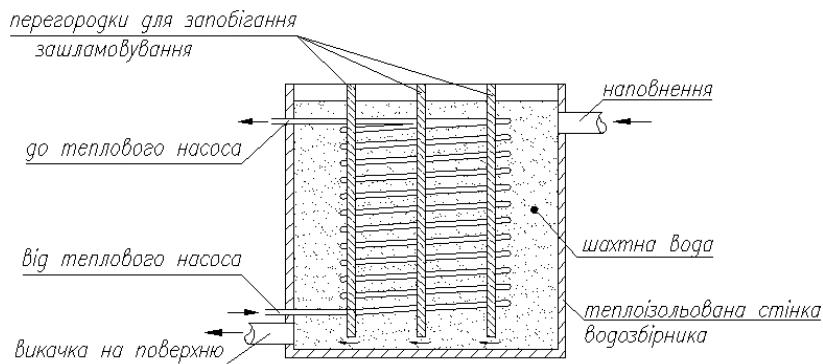


Рисунок 1 – Змійовиковий приймальний контур, розташований у водозбірнику.

Другий варіант передбачає установку додаткової стінки в приймальній ємності із зазором 10–15 мм. Між додатковою стінкою і корпусом водозбірника буде циркулювати теплоносій. Цей варіант є найбільш зручним з погляду експлуатації прийомних ємностей. Така конструкція всього лише незначно зменшить водозбірник в обсязі, що зовсім не позначиться на його функціональних характеристиках і не зашкодить очищенню ємності. Для поліпшення теплозйому між встановленою стінкою та існуючим корпусом ємності рекомендується встановлювати перегородки для турбулізації теплоносія і збільшення коефіцієнта тепловіддачі між металом і теплоносієм. Принципову схему такої установки показано на рисунку 2.

Однак слід зауважити, що не завжди є можливість розмістити устаткування теплонасосної установки на горизонті безпосередньо поруч із водозбірником. Це обумовлене тим, що, як для самого устаткування, так і для його обслуговування необхідно значний простір, якого в умовах гірських виробіток звичайно не вистачає. До того ж воду, що подається на технічні потреби, довелося б транспортувати від місць установки водозбірників на поверхню, що спричинить додаткові витрати на насосне устаткування, електроенергію, а також прокладку трубопроводу.

Одним зі шляхів вирішення даної проблеми могло б бути використання шахтних відстійників і освітлювачів у якості водоймищ, в яких укладається приймальний контур з гнучкого змійовика. Але такий варіант зв'язаний зі складностями, тому що більшість конструкцій відстійників має перегородки для поліпшення очищення, що зашкодить прокладанню змійовика. До того ж відстійники розташовані простонеба, що буде сприяти істотному вилученню теплоти в навколошнє середовище і значному зниженню теплової потужності установки в холодний період року.

У зв'язку з вищевикладеним доцільно зауважити, що тепловий насос із тепlopриймальним контуром слід установлювати безпосередньо при виході води, що відкачується з шахти. Для установки приймального контуру на трубопроводі монтується байпасна лінія з одним або кількома (залежно від бажаної потужності) приймальними контурами (рис. 3).

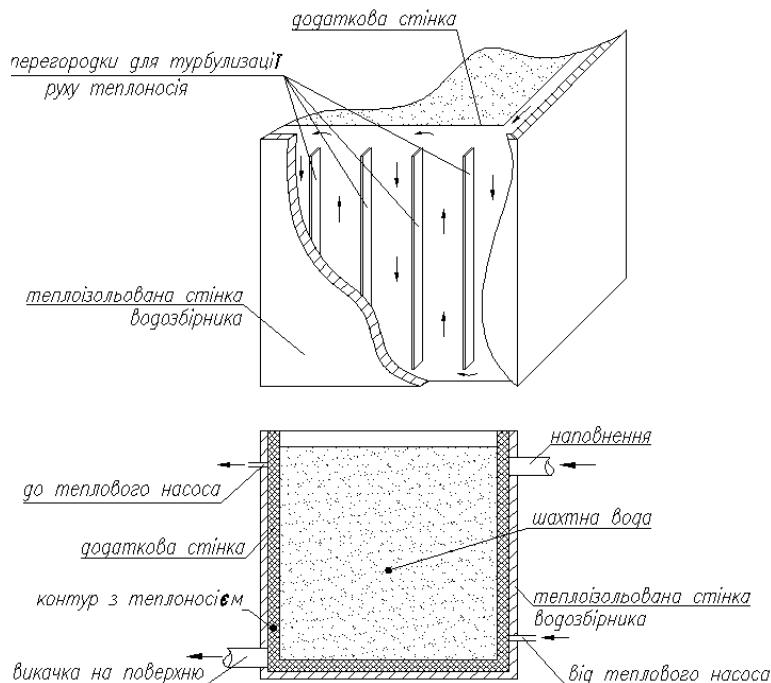


Рисунок 2 – Приймальний контур із циркуляцією теплоносія навколо ємності.

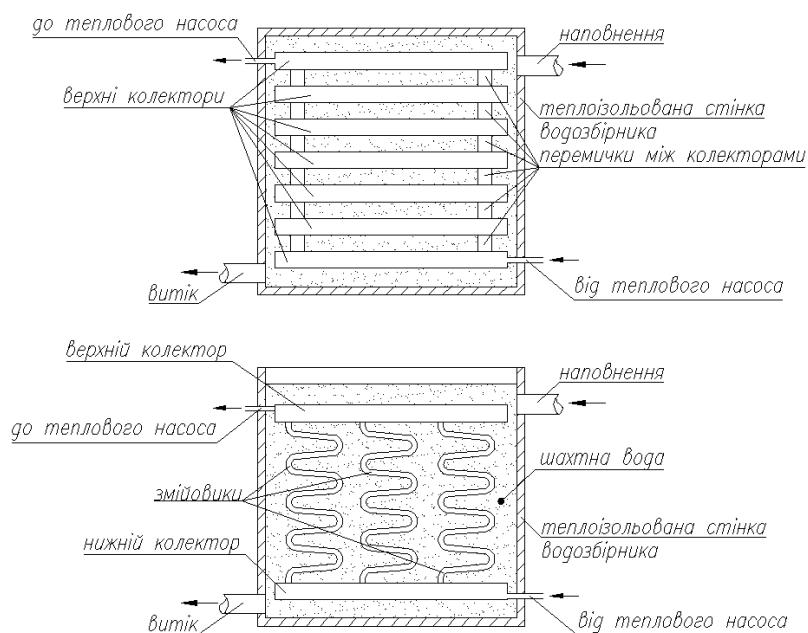


Рисунок 3 – Приймальний контур колекторного типу.

В якості додатка до вже запропонованих конструкцій можна запропонувати ще один варіант, рис. 3, який дозволяє модулювати потужність ТН. Холодаагент надходить у контур у рідкій фазі через нижні колектори, з'єднані між собою перемичками. Потім він скипає внаслідок теплообміну із шахтною водою і вже у вигляді сепарованої пари збирається у верхніх колекторах і подається до ТН. Слід зазначити, що чищення такої ємності буде здійснюватися на поверхні, що значно спрощує технологічний процес.

Усі наведені схеми носять принциповий характер. Розрахунки конкретного обсягу ємності із шахтною водою, діаметрів колекторів і труб змійовика залежить від великої кількості факторів (параметри застосованого холодоагенту, режим руху рідин біля теплообмінної поверхні, ступінь наявності домішок у шахтній воді, матеріал теплообмінника та т. ін.) і може служити матеріалом для подальших конструктивних розрахунків даної установки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Галетуха Г. Г Анализ основных положений «Энергетической стратегии Украины до 2030 года» / Галетуха Г. Г., Железная Т. А. // Промышленная теплотехника, 2006. – Т. 28, № 5. – С. 82–92.
2. Янтовский Е. И. Теплонасосные станции в энергетике / Янтовский Е. И., Пустовалов Ю. В., Янков В. С. // Теплоэнергетика. – 1978. – № 4. – С. 13–19.
3. Зимин Н. Б. Анализ эффективности теплонасосных систем утилизации теплоты канализационных стоков для теплоснабжения социальных объектов / Зимин Н. Б., Фиалко Н. М. // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 1. – С. 77–85.
4. Гомелаури В. И. Опыт разработки и применения теплонасосных установок / Гомелаури В. И., Везиришивили О. Ш. // Теплоэнергетика. – 1978. – № 4. – С. 22–25.
5. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / Дмитриев А. Н., Ковалев И. Н., Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. – М. : АВОК–ПРЕСС, 2005. – 120 с. – 4000 экз. – ISBN 5–98267–016–2.

Отримано 06.10.2010

А. В. ЛУКЬЯНОВ, С. И. МОНАХ, Д. В. ВЫБОРНОВ  
ШАХТНЫЕ ВОДЫ КАК ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Проанализировано состояние топливно-энергетического сектора, показана необходимость внедрения тепловых насосов и других теплогенераторов, использующих тепловую энергию низкотемпературных источников энергии в качестве альтернативы традиционным теплогенерирующими установкам. Предложены варианты установки приемного контура теплонасосных установок, использующих теплоту шахтных сбросных вод в зависимости от схем откачивания воды.

**энергоэффективность, тепловая схема, геотермальный тепловой насос, приемный контур, теплообменник, циркуляция**

A. B. LUKYANOV, S. I. MONAKH, D. V. VYBORNOV  
MINE WATER AS A SOURCE FOR HEAT SUPPLY SYSTEMS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The state of the fuel and power industry has been analysed in the paper. The necessity of implementation of heat pumps and other heat generators using heat of low-temperature energy sources as alternative to traditional heat-generating plants has been proved. The alternate versions of the installation of intake system of heat pump using heat of mine waste water depending on the pumping schemes have been offered.

**energy efficiency, heat scheme, geothermal heat pump, intake system, heat exchanger, circulation**

**Лук'янов Олександр Васильович** — д. т. н., професор кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозберігаючі технології в системах теплопостачання, теплогенератори локальних систем теплопостачання.

**Монах Світлана Ігорівна** — к. т. н., доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання при впровадженні теплонасосних та когенераційних технологій виробництва енергоносіїв.

**Виборнов Дмитро Володимирович** — аспірант кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання та гарячого водопостачання з використанням теплонасосних технологій.

**Лук'янів Олександр Васильович** — д.т.н., професор кафедри «Теплотехника, теплогазоснабженіє и вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергосберегаючі технології в системах теплоснабження, теплогенератори локальних систем теплоснабження.

**Монах Світлана Ігоревна** — к.т.н., доцент кафедри «Теплотехника, теплогазоснабженіє и вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергосбереженіє в системах теплоснабження при внедрении теплонасосных и когенераціонных технологій производства енергоносителей.

**Виборнов Дмитрій Владімирович** — аспірант кафедри «Теплотехника, теплогазоснабженіє и вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергосбереженіє в системах теплоснабження и горячего водоснабженія с использованием теплонасосных технологій.

**Lukyanov Aleksandr Vasilyevich** — a D. Sc. (engineering), a Professor, the Chair of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation processes in heat supply systems, heat-generators of local heat supply systems.

**Monakh Svetlana Igorevna** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation in heat supply systems at introduction of heat pumping and cogeneration processes and procedures of production of mineral resources used as sources of energy.

**Vybornov Dmitry Vladimirovich** — a postgraduate of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation in heat supply systems and hot water supply with heat pumping procedures and techniques.

УДК 628.511

**Н. А. МАКСИМОВА, В. П. КИЧАТОВ, М. В. КОСТИКОВА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ**

Рассмотрены существующие способы утилизации теплоты удалаемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Предложен способ утилизации теплоты удалаемого воздуха на основе адсорбции водяных паров силикагелем.

**энергосбережение, утилизация теплоты, приточный воздух, рекуператоры теплоты, вентиляция, кондиционирование**

**Формулировка проблемы.** Проблема энергосбережения относится к актуальной задаче нашего времени. Проблема обостряется в связи с ростом энергопотребления в различных регионах и отраслях хозяйственной деятельности общества. Из-за роста энергопотребления увеличивается потребность в энергоносителях: природном газе, каменном угле, мазуте и др. В системах вентиляции и кондиционирования воздуха использование теплоты удалаемого воздуха для нагрева приточного воздуха позволяет на 50...60 % снизить расход теплоты вентиляционными системами.

Но в настоящее время все затрудняется тем, что еще не выделена область экономически целесообразного применения тех или иных теплоутилизаторов в климатических и эксплуатационных условиях страны.

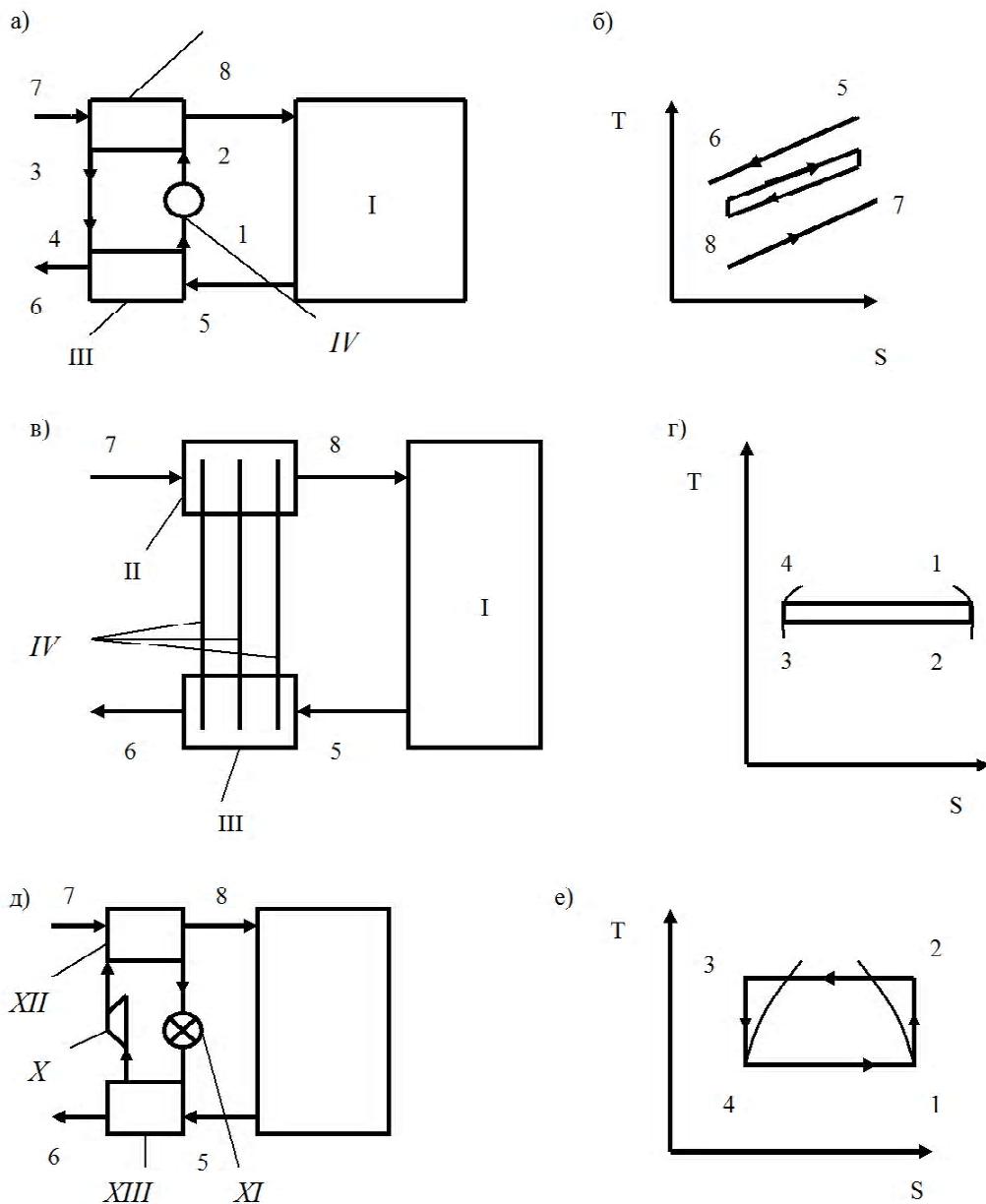
**Анализ последних исследований и публикаций.** Теплоутилизационные установки можно разделить на два вида: теплоутилизаторы-теплообменники непосредственного действия и тепловые насосы, обеспечивающие увеличение потенциала утилизируемого тепла. Теплообменники-теплоутилизаторы могут использоваться только в том случае, если потенциал источника выше потенциала той среды, которой передается тепловая энергия [1].

Теплоутилизаторы-теплообменники подразделяются на три группы: воздухо-воздушные или воздухо-жидкостные рекуперативные теплоутилизаторы, теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем и регенеративные теплоутилизаторы. К настоящему времени разработаны разнообразные схемы и оборудование для утилизации теплоты удалаемого воздуха. Наиболее оптимальным, по мнению различных источников, является утилизатор с промежуточным теплоносителем [1].

**Цель исследования.** Целью данного исследования является анализ применяемых способов утилизации теплоты удалаемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования и выбор наиболее оптимальной схемы утилизации теплоты.

**Основной материал.** При всем многообразии конструктивных решений утилизаторов тепла характерным для них является наличие следующих элементов: среды — источника тепловой энергии; среды — потребителя тепловой энергии; теплообменника-теплоприемника, воспринимающего тепловую энергию от источника; теплообменника-теплопередатчика, передающего тепловую энергию потребителю; рабочего вещества, транспортирующего тепловую энергию от источника к потребителю. В регенеративных и рекуперативных утилизаторах рабочим веществом являются сами теплообменивающиеся среды [2]. Определенный интерес представляют термодинамический анализ работы утилизаторов, который позволяет установить термодинамическую общность и различие процессов, протекающих в них.

Для этой цели воспользуемся изображением процессов на Т-с-диаграмме (рис. 1). В утилизаторах тепла с однофазными рабочими веществами процесс на Т-с-диаграмме изображается в области жидкой или газообразной фазы. Рассмотрим как наиболее общий случай работу теплоутилизатора с



**Рисунок 1** – Схемы теплоутилизаторов и изображения на Т-с-диаграмме протекающих в них термодинамических процессов: а, б – теплообменники с промежуточным однофазным теплоносителем; в, г – теплообменники с тепловыми трубками; д, е – теплообменники с тепловым насосом; I – помещение; II – теплообменник-теплопередатчик; III – теплообменник- теплоприемник; IV – циркуляционный насос; V – тепловые трубы; VI – зона конденсации; VII – пар; VIII – конденсат; IX – зона испарения; X – компрессор; XI – регулирующий вентиль; XII – теплопередатчик-конденсатор; XIII – теплоприемник-испаритель.

промежуточным теплоносителем (рис. 1, а, б). Поскольку состояние рабочего вещества в циркуляционном насосе меняется незначительно, можно полагать, что точки на Т-с-диаграмме (рис. 1, б), изображающие состояние рабочего вещества на выходе из теплообменника (1) и на входе в теплопередатчик (2), а также на выходе из теплопередатчика (3) и на входе в теплоприемник (4) почти совпадают. Тогда изменение состояния рабочего вещества на Т-с-диаграмме изобразится практически совпадающими линиями 1–4 и 2–3, проходящими по направлению  $p = \text{const}$ . Изменению параметров состояния среды-источника тепла (например, вытяжной воздух) соответствует на диаграмме линия 5–6, а среды, воспринимающей тепло (например, приточный воздух) – линия 7–8.

Процесс в утилизаторе с тепловыми трубками, который также соответствует случаю с промежуточным теплоносителем (рис. 1, в, г), отличается от рассмотренного выше тем, что он протекает на

Т-*s*-диаграмме в области влажного пара с изменением фазового состояния при практически постоянной температуре. Поскольку теплоприемник и теплопередатчик имеют общий объем, в них устанавливается одинаковое давление [3]. При одинаковых тепловых потоках в конденсаторе и испарителе давление испарения и конденсации можно считать соответствующим средней температуре среды на входах в теплоприемник (в зоне испарения) и в теплопередатчик (в зоне конденсации). Изменение состояния рабочего вещества можно изобразить горизонтальными, практически совпадающими с  $T = \text{const}$  линиями. Изменение состояния теплообменяющихся сред (линии 5–6 и 7–8) аналогично первому случаю.

Утилизатор с тепловым насосом (рис. 1, д, е) отличается тем, что циркуляция рабочего вещества в нем осуществляется компрессором. В компрессоре в отличие от тепловой трубы происходит адиабатное сжатие рабочего вещества. В результате его температура увеличивается. Чем больше работа, затрачиваемая в компрессоре на адиабатное сжатие рабочего вещества, тем больше на Т-*s*-диаграмме расходятся прямые 1–4 и 2–3, определяющие температурный уровень в испарителе и конденсаторе, от приблизительно среднего положения, соответствующего температурному уровню в тепловой трубке [4]. Состояния теплообменяющихся сред (линии 5–6 и 7–8) аналогичны первому случаю. В результате увеличиваются перепады температур рабочего вещества в теплоприемнике и теплопередатчике и сред в источнике (5–6) и потребителе (7–8) тепловой энергии. Это приводит к сокращению теплообменной поверхности, необходимой для передачи тепловой энергии. Однако одновременно с этим затрачивается мощность на адиабатное сжатие. Одна из возможных форм термодинамической оценки циклов, протекающих в утилизаторах, состоит в определении отношения полезной тепловой мощности к затрачиваемой на совершение цикла. Поскольку в утилизаторах тепла с насосами затраты мощности на совершение цикла несопоставимо меньше, чем в компрессорах, для них это отношение выше. Однако окончательное решение о целесообразности применения конкретного утилизатора следует делать на основе экономических расчетов.

К настоящему времени разработаны разнообразные схемы и оборудование для утилизации теплоты удалаемого воздуха. Для регионов Украины наиболее оптимальным являются утилизаторы с промежуточным теплоносителем.

Однако и они имеют ряд недостатков:

— режим работы данных утилизаторов зависит от колебаний (амплитуды) температуры наружного воздуха, наблюдаемых в отдельные аномальные дни холодного периода года. В эти дни (пятидневки и декады) нарушается бесперебойная работа утилизаторов теплоты, возникает необходимость отключения их от стадии утилизации на определенные периоды.

— принципы утилизации теплоты заложенные, а их конструкции, основанные на процессах теплопередачи и конвективного теплообмена, не позволяют утилизировать полностью главную составляющую теплоты удалаемого воздуха из помещений — скрытую теплоту водяных паров.

Утилизатор может быть сконструирован более универсальным и эффективным, если его работа будет основана на сорбционных процессах в системе воздух — твердый сорбент.

При этом удалаемый воздух из помещений пропускают через слой гранулированного сорбента — тело с развитой микроструктурой, например, силикагель и др., который способен жадно впитывать водяные пары с выделением большого количества теплоты — теплота адсорбции (теплота фазового перехода).

Адсорбция сопровождается конденсацией влаги в капиллярных сорбентах с выделением удельной теплоты испарения и удельной теплоты смачивания в количестве 29 830 кДж/кг.

Причем многие сорбенты могут производить осушение воздушного потока до нулевого влагосодержания и выпускать в атмосферу практически абсолютно сухой воздух, т. е. практически утилизировать всю скрытую теплоту и дополнительно явную теплоту в количестве не менее той, что утилизируется в современных утилизаторах.

Таким образом, в предлагаемом способе количество утилизируемой теплоты больше, чем в традиционном способе с рекуперативными теплообменниками на величину теплоты адсорбции, выделяющейся при осушке воздуха.

Экономия только за счет утилизации теплоты воздуха, удалаемого из промышленных зданий, может достигать 1,7...2,0 млн. т.у.т. в год. Необходимо применять такие теплоутилизаторы, которые были бы экономически наиболее эффективны, надёжны и просты в эксплуатации и имели бы сравнительно невысокий удельный расход металла.

Для определения суммарного количества утилизируемой теплоты необходимо произвести теплотехнический расчет утилизатора с учетом климатических условий местности, типа и конструкции утилизатора, числа смен работы, мероприятий по предотвращению инеообразования и т. д.

**Выводы.** Приведены и проанализированы существующие способы утилизации теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. В качестве схемы утилизации теплоты предложен способ рекуперации теплоты удаляемого воздуха на основе адсорбции водяных паров силикагелем. Способ позволяет осуществить полный отбор скрытой теплоты водяных паров, содержащихся в воздухе, что недостижимо для существующих методов утилизации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В. Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжения / Богословский В. Н., Кокорин О. Я., Петров Л. В. — М. : Стройиздат, 1985. — 367 с.
2. Кокорин О. Я. Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Кокорин О. Я. — М. : Проспект, 1999. — 287 с.
3. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. / Кельцев Н. В. : [2-е изд.]. — М. : Химия, 1984. — 592 с.
4. Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха / Кокорин О. Я. — М. : Физматлит, 2003. — 304 с.
5. Баркалов Б. В. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях / Баркалов Б. В., Карпин Е. Е. — М. : Стройиздат, 1982. — 312 с.

Получено 10.09.2010

Н. А. МАКСИМОВА, В. П. КИЧАТОВ, М. В. КОСТИКОВА  
СПОСОБИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ПОВІТРЯ, ЩО ВИДАЛЯЄТЬСЯ, В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНАВАННЯ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуті існуючі способи утилізації теплоти повітря, що видаляється, в системах вентиляції і кондиціонування повітря. Запропоновано спосіб утилізації теплоти повітря, що видаляється, на основі адсорбції водяної пари силікагелем.  
**енергозбереження, утилізація теплоти, припливне повітря, рекуператори теплоти, вентиляція, кондиціонування**

N. A. MAKSIMOVA, V. P. KICHTOV, M. V. KOSTIKOVA  
HEAT RECOVERY METHODS AT DEAERATION IN VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The available heat recovery methods for deaeration in ventilation and air conditioning systems have been analysed. The new heat recovery method for deaeration in ventilation and air conditioning systems on the bases of the water steam absorption by silica gel have been offered.  
**energy conservation, heat recovery, incoming air, recuperative heat exchangers, ventilation, air-conditioning**

**Максимова Наталія Анатоліївна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка термотрансформаторів та теплових насосів, енергоресурсозбереження.

**Кичатов Валентин Петрович** — доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Костікова Марія Валеріївна** — магістрант кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Максимова Наталія Анатольевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка термотрансформаторов и тепловых насосов, энергоресурсосбережение.

**Кичатов Валентин Петрович** — доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

**Костикова Мария Валерьевна** — магистрант кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

**Maksimova Natalya Anatolyevna** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heating Engineering, Gas Supply and Ventilation Department. Research interests: engineering of heat transformers and heat pumps, energy conservation.

**Kichatov Valentin Petrovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

**Kostikova Mariya Valeryevna** — an M. Ph. (Engineering), an instructor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

УДК 696.2.001.2(035.5)

**В. И. ЗАХАРОВ, Е. И. САПРОНОВ, А. В. АРНАУТОВА**  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРУБ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Выполнен анализ определения потерь давления газа при расчете газопроводов жилого здания при помощи коэффициентов местных сопротивлений и эквивалентных длин (метод эквивалентных длин) или введением процентной надбавки к потерям на трение (метод процентной надбавки). Произведено сравнение потерь давления при использовании для строительства газопроводов металлических и металлокомпозитных труб.

**гидравлический расчет, процентная надбавка, эквивалентная длина, металлокомпозитные трубы**

**Формулировка проблемы.** Жилые здания снабжают газом низкого давления от распределительных газопроводов низкого давления или от газопроводов среднего давления через местные ГРП (домовые регуляторы). Система газоснабжения включает ответвление от уличного газопровода, дворовую разводку с вводами в здания и внутренние газопроводы.

Внутренние газопроводы состоят из вводов, стояков и внутридомовых разводок. Прокладываются они открыто с учетом требований [1, 2] и выполняются обычно из стальных труб на сварке. Транзитные газопроводы прокладывать через жилые помещения не рекомендуется. Перед каждым газовым прибором, а также перед счетчиком, устанавливают краны.

Разрабатывая проект внутридомового газопровода, необходимо выбрать типы газовых приборов, разместить их в помещениях в соответствии с нормами, составить схему газовой сети и провести ее гидравлический расчет.

Расчетные расходы газа по сетям жилых зданий определяются по номинальным расходам газа приборами с использованием коэффициента одновременности действия [1]. Расчетные перепады давления в дворовых (квартальных) и домовых сетях низкого давления жилых зданий принимаются с учетом требований [1]. Для многоэтажных зданий также необходимо учитывать гидростатическое давление в стояках [1]. Диаметры газопроводов определяются гидравлическим расчетом.

Только правильно подобранные (расчитанные) диаметры газопроводов обеспечивают надежное газоснабжение зданий.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Потери давления на трение в газопроводах можно определять по уравнениям, которые приведены [1, 3, 4, 5], или с использованием номограмм, которые приведены в [3, 4, 6, 7].

Потери давления в местных сопротивлениях при определении диаметра можно учитывать при помощи коэффициентов местных сопротивлений и эквивалентных длин местных сопротивлений (метод эквивалентных длин) или введением процентной надбавки к потерям на трение (метод процентной надбавки). Первый метод расчета описан в [3, 4, 8], а второй — в [6, 7].

Анализ указанных источников показал, что основным отличием указанных методов расчета является определение расчетных длин, то есть длин газопроводов, которые учитывают потери давления на трение и местные сопротивления.

При методе эквивалентных длин расчетные длины газопроводов определяются по уравнению

$$l_p = l_d + l_{\text{экв}} \cdot \sum \xi, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $l_d$  — действительная длина участка (определяется по плану и разрезам), м;

$l_{\text{эквд}}$  — эквивалентная длина, определенная при коэффициенте местных сопротивлений равном 1, м;

$\xi$  — коэффициент местных сопротивлений.

Значения  $l_{\text{эквд}}$  вычисляются по уравнениям, которые приведены в [1], в зависимости от режима движения.

При методе процентной надбавки расчетные длины газопроводов определяются по уравнению

$$l_p = l \cdot \left(1 + \frac{a}{100}\right), \text{ м}, \quad (2)$$

где  $l$  — действительная длина участка (определяется по плану и разрезам), м;  
 $a$  — процентная надбавка.

Величина процентной надбавки принимается по [1] и составляет:

от вводов в здание до стояка — 25 %

на стояках — 20 %

на внутриквартирной разводке при длине разводки, м, 1–2 — 450 %

3–4 — 300 %

5–7 — 120 %

8–12 — 50 %

При этом следует отметить, что в литературе отсутствуют рекомендации по использованию указанных методов расчета.

**Целью** статьи является анализ различных методик выполнения гидравлического расчета газопроводов при использовании труб из различных материалов.

Учитывая, что в нормативных документах Украины [1, 2] для строительства внутренних газопроводов рекомендуются металлические трубы, то гидравлические расчеты выполнены для газопроводов схемы, приведенной на рисунке 1.

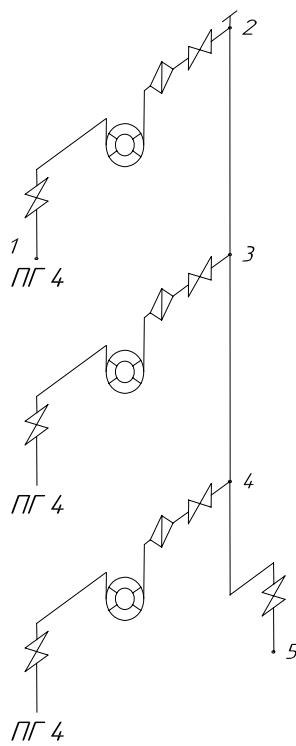


Рисунок 1 — Схема газового стояка.

При выполнении расчетов использованы электронные таблицы «Excel», составление книг, которые описаны в [9]. Результаты расчета приведены в таблицах 1 и 2. Потери давления в счетчике и в фильтре не учитывались, так как в обоих вариантах они одинаковы (они зависят только от расхода газа).

Таблица 1 – Расчет методом процентной надбавки (металлические трубы)

№ уч.	Расчетный расход газа на участке, $Q_p, \text{м}^3/\text{ч}$	Длина участка, $l, \text{м}$	Процен- тная надбав- ка, %	Расчетная длина участка, $l_p, \text{м}$	Среднее удель- ное падение давле- ния $h_{cp}, \text{Па/м}$	Действит. удельное падение давления, $h_o, \text{Па/м}$	$l_p \times h_o,$ Па	Гидро- статич. давление на участке, $H_o, \text{Па}$	Потери давления на участке $\Delta p, \text{Па}$
1-2	1,19	2,5	300	10	21,3 $\times$ 2,8	2,31	23	5	28
2-3	1,19	3	20	3,6	21,3 $\times$ 2,8	2,31	8	-15	-7
3-4	1,547	3	20	3,6	21,3 $\times$ 2,8	3,86	14	-15	-1
4-5	1,607	2,8	20	3,36	21,3 $\times$ 2,8	4,22	14	-11	3

\*Примечания. 1. Суммарное значение расчетных длин участков составляет  $\Sigma l_p = 20,56 \text{ м}$ .

2. Суммарное значение потерь давления на участках составляет  $\Sigma \Delta p = 22 \text{ Па}$ .

Таблица 2 – Расчет методом эквивалентных длин (металлические трубы)

№ уч.	Расчетный расход газа на участке, $Q_p, \text{м}^3/\text{ч}$	Диаметр газопров., $D_n, \text{мм}$	Толщина стенки, мм	Внутр. диаметр, мм	Местные сопротивления и их количество	$\xi$	$\sum \xi$	$L_o$	$L_d^*$	Длина участ- ка, $l, \text{м}$	Расчетная длина участка, $l_p, \text{м}$	Действит. удельное давление давления, $h_o, \text{Па/м}$	$h_o \times l_p,$ Па	Гидро- статич. давление на участке, $H_o, \text{Па}$	Потери давления на участке $\Delta p, \text{Па}$
1-2	1,19	21,3	2,8	1,57	кран прокладочный, 2 шт Отвод (90°, 3 шт Колено)	8	10	0,46	4,58	2,5	7,1	2,31	16	5	21
2-3	1,19	21,3	2,8	1,57	Тройник прходной	1	1	0,46	0,46	3	3,5	2,31	8	-15	-7
3-4	1,547	21,3	2,8	1,57	Тройник прходной	1	1	0,47	0,47	3	3,5	3,86	13	-15	-2
4-5	1,607	21,3	2,8	1,57	Отвод (90°, 2 шт Кран прокладочный, 1 шт)	0,6	4,6	0,46	2,12	2,8	4,9	4,22	21	-11	10

\*Примечание. Суммарное значение потерь давления на участках составляет  $\Sigma \Delta p = 22 \text{ Па}$ .

Компания TECE GmbH предлагает новую технологию прокладки внутренних газопроводов на основе металлополимерной трубы TECE flex. TECE предлагает полноценное комплексное решение, которое имеет всю необходимую разрешительную и техническую документацию. Срок службы трубопроводов и соединений составляет более 50 лет. При этом трубы TECE flex в течение всего срока службы способны выдерживать нагрузки по давлению на два порядка превышающие те, которые существуют в газопроводах. Трубопроводы TECE flex могут монтироваться как открытым способом, так и в технологических каналах – штрабах, футлярах. Данные трубопроводы не требуют обслуживания в течение всего срока эксплуатации [10].

Металлополимерная труба для газа PE-Xc\Al\PE предназначена для монтажа внутридомового газового оборудования. Основой многослойной конструкции является внутренняя несущая труба из полиэтилена, сшитого электронно-лучевым методом (PE-Xc).

Алюминиевый слой выполняет антидиффузионные и стабилизирующие функции. Внешний слой из полиэтилена (PE) желтого цвета защищает трубу от ультрафиолета и механических повреждений.

Технология соединения TECE flex заключается в аксиальной запрессовке предварительно расширенной трубы на фитинг с использованием пресс-втулки.

Герметичность соединения достигается за счёт «эффекта памяти» материала трубы – сшитого полиэтилена. После запрессовки стенка трубы стремится вернуться к первоначальному, не расширенному состоянию и обжимает фитинг по всей поверхности соединения. Данный метод не требует никаких уплотнений, что делает соединение надёжным и позволяет монтировать его внутри строительных конструкций.

Технология соединения TECE flex позволяет не заужать соединения трубопроводов, что благоприятно отражается на гидравлике системы.

Проектирование внутренних газопроводов с применением труб PE-Xc\Al\PE может выполняться с учетом требований, приведенных в [11].

Расчет потерь давления выполнен для подводки газопроводов, приведенных на рисунке 2.

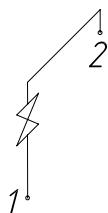


Рисунок 2 – Схема подводки к газовому прибору.

Результаты расчетов приведены в таблицах 3 и 4.

#### Выводы:

1. При проектировании внутренних газопроводов из металлических труб гидравлические расчеты можно выполнять как по методу эквивалентных длин, так и по методу процентной надбавки (см. таблицы 1 и 2), так как суммарные потери давления по схеме одинаковы. Но при этом следует отметить, что потери давления по отдельным участкам отличаются значительно (до 70 %). Следовательно, если производится проектирование системы газоснабжения здания в целом, можно применять метод процентной надбавки, который менее трудоемок, чем метод эквивалентных длин. При реконструкции системы газоснабжения здания следует расчет выполнять по методу эквивалентных длин.

2. При проектировании внутренних газопроводов из полиметаллических труб следует учитывать, что потери давления значительно превышают потери давления у металлических труб (см. табл. 3 и 4) при сопоставимых наружных диаметрах. Поэтому газопроводы из металлополимерных труб следует выполнять по методу эквивалентных длин для более точного учета потерь давления.

Таблица 3 — Расчет методом эквивалентных длин с применением металлонолимерных газопроводов

$N_{\text{уч.}}$	Расчетный расход газа на участке, $Q_o, \text{м}^3/\text{ч}$	Диаметр газопров., $D_{\text{н.}}, \text{мм}$	Толщина стенки, $\text{мм}$	Внутр. диаметр, $\text{см}$	Местные сопротивления и их количество	$\xi$	$\sum \xi$	$L_d$	$L_d^*$	Длина участка, $l, \text{м}$	Расчетная длина участка, $l_p, \text{м}$	Действит. удельное падение давления, $h_o, \text{Па}/\text{м}$	$h_o \times l_p, \text{Па}$
1-2	1,19	21,4	3,85	1,41	Кран пробковый, 1 шт Отвод (90), 2 шт	4	5	0,44	2,2	1,9	4,1	3,7	15,3

\***Примечание:** Шероховатость поверхности данных газопроводов составляет 0,003 мм.

Таблица 4 — Расчет методом эквивалентных длин с применением металлических газопроводов

$N_{\text{уч.}}$	Расчетный расход газа на участке, $Q_o, \text{м}^3/\text{ч}$	Диаметр газопров., $D_{\text{н.}}, \text{мм}$	Толщина стенки, $\text{мм}$	Внутр. диаметр, $\text{мм}$	Местные сопротивления и их количество	$\xi$	$\sum \xi$	$L_d$	$L_d^*$	Длина участка, $l, \text{м}$	Расчетная длина участка, $l_p, \text{м}$	Действит. удельное падение давления, $h_o, \text{Па}/\text{м}$	$h_o \times l_p, \text{Па}$
1-2	1,19	21,3	2,8	1,57	Кран пробковый, 1 шт Отвод (90), 2 шт	4	4,6	0,46	2,1	1,9	4	2,31	9,27

\***Примечание:** Шероховатость поверхности данных газопроводов составляет 0,01 мм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Газоснабжение : ДБН В.2.5—20—2001. — [взамен СНиП 2.04.08-87, СНиП 3.05.02—88]. — К. : Госстрой Украины, 2001. — 287 с. (Национальный стандарт Украины).
- Правила безопасности систем газоснабжения Украины : ДНАОП 0.00—1.20—98. — К. : 1998. — 368 с. (Державні нормативні акти з охорони праці).
- Ионин А. А. Газоснабжение : [учебн. для вузов. ; 4-е изд., перераб. и доп.] / Ионин А. А. — М. : Стройиздат, 1989. — 439 с. : ил.
- Стаскевич Н. Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Стаскевич Н. Л., Северинец Г. Н., Вигдорчик Д. Я. — Л. : Недра, 1990. — 762 с. : ил.
- Варфоломеев В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения / В. А. Варфоломеев, Я. М. Торчинский, Р. Н. Шевченко. — К. : Будівельник, 1988. — 238 с.
- Єнін П. М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом : [навч. посібн.] / Єнін П. М., Шишко Г. Г., Предун К. М. — К. : Логос, 2002. — 198 с.
- Пешехонов Н. И. Проектирование газоснабжения / Пешехонов Н. И. — К. : Будівельник, 1970. — 148 с.
- Скафтымов Н. А. Основы газоснабжения / Скафтымов Н. А. — Л. : Недра, 1975. — 343 с.
- Тышчик С. Н. Гидравлический расчет газопроводов низкого давления с использованием электронных таблиц «Excel» / Тышчик С. Н., Захаров В. И., Захарова З. В. // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. — Макеевка : Вісник ДНАБА, 2005. — Вип. 2(50). — С. 77-80.
- Трубопроводы ТЕСЕ flex для газоснабжения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.tece.ru/index.php?id=114>
- Проектирование, строительство и эксплуатация газопроводов домов жилых одноквартирных из многослойных металлополимерных труб : Стандарт организации ОАО «Гипронигаз». — М. : Гипронигаз, 2008. — 39 с. — (Стандарт организаций).

Получено 14.09.2010

**В. И. ЗАХАРОВ, Е. И. САПРОНОВ, О. В. АРНАУТОВА**  
**ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ ІЗ**  
**ЗАСТОСУВАННЯМ РІЗНИХ ВІДІВ ТРУБ**  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконаний аналіз визначення втрат тиску газу при розрахунках газопроводів житлового будинку за допомогою коефіцієнтів місцевих опорів і еквівалентних довжин місцевих опорів (метод еквівалентних довжин) або введенням відсоткової надбавки до втрат на тертя (метод відсоткової надбавки). Зроблено порівняння втрат тиску при використанні для будівництва газопроводів металевих і металополімерних труб.

**гідравлічний розрахунок, відсоткова надбавка, еквівалентна довжина, металополімерні труби**

**V. I. ZAHAROV, YE. I. SAPRONOV, O. V. ARNAUTOVA**  
**RESIDENTIAL GAS CONDUIT DESIGN MADE OF VARIOUS KINDS OF PIPES**  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of gas pressure loss determination has been done at the gas conduit calculation of a residential building by means of local resistance factors and the lengths considering losses of pressure upon the local resistance (a method of equivalent lengths) or introduction of the percentage extra charge to friction losses (a method of markup percentage). The pressure losses of conduits consisting of metal and metal-polymer pipes used at construction have been compared.

**hydraulic design, markup percentage, equivalent length, metal and polymer pipes**

**Захаров Віктор Іванович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розподіл природного газу в умовах дефіциту газу; оперативне керування системами газопостачання; раціональне використання газоподібного палива.

**Сапронов Єгор Ігорович** — студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: газопостачання житлових і громадських будинків.

**Арнаутова Олександра Вікторівна** — студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: газопостачання житлових і громадських будинків.

**Захаров Виктор Иванович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

**Сапронов Егор Игоревич** — студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: газоснабжение жилых и общественных зданий.

**Арнаутова Александра Викторовна** — студентка Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: газоснабжение жилых и общественных зданий.

**Zakharov Victor Ivanovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: natural gas distribution in terms of gas deficiency, day-to-day gas supply systems management, a rational gas fuel application.

**Sapronov Yegor Igorevich** — an undergraduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: gas supply of residential and public buildings.

**Arnautova Aleksandra Viktorovna** — an undergraduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: gas supply of residential and public buildings.

УДК 621.1:621.31:621.43

**Э. И. ДМИТРОЧЕНКОВА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ РЕКОНСТРУИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Изложены результаты эксергетического анализа когенерационной установки на базе реконструированного двигателя внутреннего сгорания. Описана конструкция рассматриваемой опытно-промышленной установки, которая для анализа разделена на отдельные блоки. Для каждого из них представлена контрольная поверхность с указанием всех потоков эксергий и определены значения эксергетической эффективности. Также определена эффективность работы всей установки в целом.  
**эксергетический анализ, когенерационная установка, контрольная поверхность, поток эксергии, эксергетическая эффективность**

**Формулировка проблемы.** Внедрение комбинированного производства тепловой и электрической энергии (когенерации) является одним из основных мероприятий, направленных на экономию энергоресурсов, изложенных в «Отраслевой программе энергоэффективности и энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве на 2010–2014 гг.», разработанной Министерством по вопросам жилищно-коммунального хозяйства [1]. На сегодняшний день когенерационные установки успешно эксплуатируются как в системе ЖКХ, так и на промышленных предприятиях страны [2]. Каждое предприятие, имеющее на балансе подобную установку, заинтересовано в наиболее эффективной ее работе. Эксергетический анализ дает возможность выявить «слабые» места в установке для последующей разработки мероприятий по повышению эффективности их работы, а, следовательно, и всей установки в целом.

**Анализ последних исследований.** В работе [3] предложена методика определения эксергетического КПД когенерационной установки. На наш взгляд, приведенные рекомендации не дают возможности полностью проанализировать работу каждого элемента, входящего в состав установки.

**Цель статьи и формулировка задачи исследований.** Настоящая работа посвящена разработке методики эксергетического анализа как отдельных узлов, так и целом когенерационной установки на базе ДВС.

**Изложение основного материала исследований.** В качестве объекта исследования рассмотрена когенерационная установка на базе реконструированного двигателя внутреннего сгорания, которая является дополнением к существующей водогрейной котельной, обеспечивающей тепловой энергией учебные корпуса Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (г. Макеевка). Тепловая схема когенерационной установки представлена на рис. 1. Блочная конструкция установки включает в себя: двигатель ТМЗ–8435.10 (1), генератор электрического тока МЕ–200–4 (2), теплообменный аппарат системы охлаждения двигателя (3) и экономайзер (4).

В качестве топлива используется природный газ, объемный состав которого приведен в таблице 1.

ДВС 1 охлаждается водой, циркулирующей по замкнутому контуру. Теплота, отобранная от ДВС в теплообменном аппарате 3, передается теплоносителю из обратной системы теплоснабжения. Окончательный подогрев этой воды осуществляется отработанными газами в экономайзере 4. Все исходные данные для проведения эксергетического анализа представлены в таблице 2.

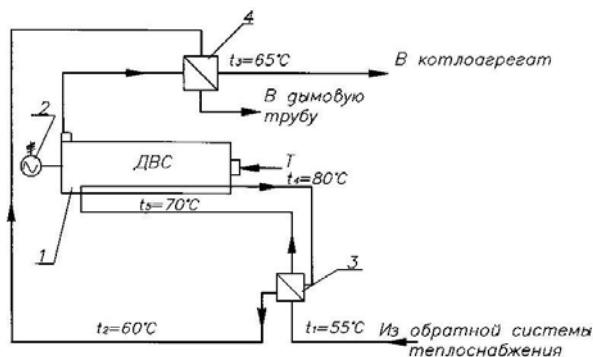


Рисунок 1 – Тепловая схема работы когенерационной установки.

Таблица 1 – Состав природного газа (в объемных долях)

Компонент	Объемная доля, $r_i$	Компонент	Объемная доля, $r_i$
$\text{CH}_4$	0,93489	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	0,00006
$\text{C}_2\text{H}_6$	0,03067	$\text{CO}_2$	0,00746
$\text{C}_3\text{H}_8$	0,00612	$\text{N}_2$	0,01846
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,0017	$\text{O}_2$	0,00008
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	0,00056		

Таблица 2 – Исходные параметры для эксергетических расчетов

Параметр	Обозначение	Единицы измерения	Значения
Температура окружающей среды	$t_0$	°C	20
Температура воды на входе в теплообменный аппарат 3 (из обратной сети системы теплоснабжения)	$t_1$	°C	55
Температура воды на выходе из теплообменного аппарата 3 (в экономайзер 4)	$t_2$	°C	60
Температура воды на выходе из экономайзера 4	$t_3$	°C	65
Температура воды на входе в теплообменный аппарат 3 из ДВС 1	$t_4$	°C	80
Температура воды на выходе из теплообменного аппарата 3 в ДВС 1	$t_5$	°C	70
Температура продуктов сгорания на выходе из ДВС 1	$t_{\text{пр.ср.1}}$	°C	500
Температура продуктов сгорания на выходе из экономайзера 4	$t_{\text{пр.ср.2}}$	°C	150
Расход природного газа	$V$	$\text{м}^3/\text{с}$	0,0083
Количество воды, поступающее из обратной системы теплоснабжения	$G_1$	кг/с	0,46
Количество воды, поступающее в двигатель для охлаждения	$G_2$	кг/с	0,23

Для дальнейшего рассмотрения в схеме когенерационной установки были выделены 3 блока: двигатель внутреннего сгорания – электрогенератор, экономайзер и теплообменный аппарат системы охлаждения двигателя. Для каждого из них представлена контрольная поверхность с указанием всех потоков эксергии, поступающих в данную поверхность и покидающих ее. На основании этого эксергетическая эффективность каждого из рассматриваемых блоков определяется по формуле:

$$\eta_3 = \frac{E_{\text{п}}}{E_3}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{п}}$  – полезно используемая эксергия в установке, кДж/с;  
 $E_3$  – эксергия поступающих потоков, кДж/с.

Первой из рассматриваемых неподвижных поверхностей является поверхность блока «ДВС-электрогенератор», потоки эксергии для которого приведены на рис. 2.

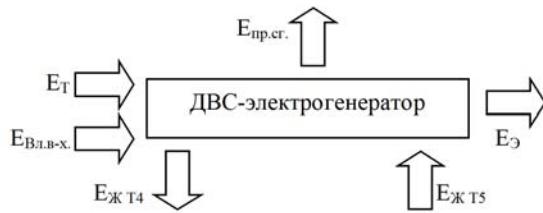


Рисунок 2 – Схема потоков эксергии в блоке «ДВС-электрогенератор».

На рис. 2  $E_T$  – термическая эксергия топлива, кДж/с;  $E_{B_{л.в.х.}}$  – термическая эксергия влажного воздуха, кДж/с;  $E_{ЖT5}$  – термическая эксергия воды, поступающей в двигатель для охлаждения при температуре  $t_5$ , кДж/с;  $E_{ЖT4}$  – термическая эксергия воды, поступающей из двигателя в теплообменный аппарат при температуре  $t_4$ , кДж/с;  $E_{пр.ср.}$  – термическая эксергия продуктов сгорания, кДж/с;  $E_3$  – термическая эксергия выработанной электрической энергии, кДж/с.

Термическая эксергия потоков, поступающих в двигатель, включает в себя термические эксергии топлива ( $E_T$ ), влажного воздуха ( $E_{B_{л.в.х.}}$ ) и воды ( $E_{ЖT5}$ ).

Термическая эксергия топлива для 1-го киломоля природного газа рассчитывается по методике, изложенной в [4]

$$e_r = \sum G_i \cdot \Delta i_i \Big|_{T_0}^T - T_0 \cdot \sum G_i \cdot \Delta s_{p_s} \Big|_{T_0}^T + e_i + \sum G_i \cdot e_{n_i} + \frac{T_n - T_0}{T_n} \cdot \sum G_i \cdot (d_{n_i} - e_{n_i}) + e_v, \quad (2)$$

где для  $i$ -того компонента:  $\Delta i_i \Big|_{T_0}^T$  – приращение энталпии в интервале температур ( $T - T_0$ ), кДж/кмоль;  $\Delta s_{p_s} \Big|_{T_0}^T$  – приращение изобарной энтропии, кДж/(кмоль·град.);  $G_i$  – количество  $i$ -того компонента, (киломоль);  $e_{n_i}$  – нормальная химическая эксергия, кДж/кмоль;  $d_{n_i}$  – энталпия девальвации чистого компонента, кДж/кмоль;  $T_0$  – температура окружающей среды;  $T_n$  – температура природного газа, К;  $e_v$  – механическая эксергия природного газа, кДж/кмоль;  $e_v$  – объемная эксергия природного газа, кДж/кмоль.

Для анализа принято, что температура природного газа равна температуре окружающей среды и водяной пар в топливе отсутствует. Следовательно, первое, второе и пятое слагаемые уравнения (2) равны нулю.

Механическая эксергия природного газа определяется отношением абсолютных давлений вещества и окружающей среды:

$$e_v = \sum n_i \cdot R_\mu \cdot T_0 \cdot \ln \frac{p}{p_0}, \quad (3)$$

где  $n_i$  – количество киломолей  $i$ -того компонента природного газа, киломоль;  $R_\mu$  – универсальная газовая постоянная, кДж/(кмоль·гр);  $p$  – абсолютное давление природного газа на входе в ДВС, Па;  $p_0$  – абсолютное давление окружающей среды, Па.

Объемная эксергия определяется составом природного газа:

$$e_v = R_\mu \cdot T_0 \cdot \sum n_i \cdot \ln z_i, \quad (4)$$

где  $z_i$  – мольное содержание  $i$ -того компонента.

Давление окружающей среды  $p_0$  соответствует нормальному барометрическому давлению в Донецке и составляет  $p_0 = 740$  мм рт. ст. = 98 642 Па.

Абсолютное давление природного газа перед двигателем равно  $p = 117 642$  Па.

Результаты расчетов термической эксергии топлива для 1-го киломоля природного газа представлены в таблице 3.

Термическая эксергия всего объема топлива, поступающего на горение, определяется из выражения:

$$E_T = \frac{e_T}{22,4} \cdot B, \quad (5)$$

где  $B$  – расход природного газа, м<sup>3</sup>/с.

Таблица 3 – Результаты расчетов удельной термической эксергии топлива

Наименование	Обозначение	Значение, кДж/кмоль
Механическая эксергия	$e_m$	429
Объемная эксергия	$e_v$	-798,1
Нормальная химическая эксергия	$\sum G_i \cdot e_{ni}$	960 990
Термическая эксергия природного газа	$e_T$	960 620,9

Удельная эксергия влажного воздуха определяется из выражения [4, 5]:

$$e_{\text{вл.вх}} = e_{\text{ex}}^m + e_{\text{ex}}^t + e_{\text{ex}}^s, \quad (6)$$

где  $e_{\text{ex}}^m$  – механическая эксергия, кДж/кмоль;  $e_{\text{ex}}^t$  – термическая эксергия, кДж/кмоль;  $e_{\text{ex}}^s$  – влажностная составляющая эксергии, кДж/кмоль.

Составляющие эксергии влажного воздуха определяются из выражений:

$$e_{\text{ex}}^m = T_0 \cdot R_{\text{нап}} \cdot (0,622 + d_s) \cdot \ln \frac{P_{\text{ex}}}{P_0}, \quad (7)$$

$$e_{\text{ex}}^t = T_0 \cdot (c_{p_{\text{вх}}} + d_{\text{ex}} \cdot c_{p_{\text{нап}}}) \cdot \left( \frac{T_{\text{ex}}}{T_0} - 1 - \ln \frac{T_{\text{ex}}}{T_0} \right), \quad (8)$$

$$e_{\text{ex}}^s = T_0 \cdot R_{\text{нап}} \cdot (0,622 + d_s) \cdot \ln \frac{0,622 + d_0}{0,622 + d_{\text{ex}}} + d_{\text{ex}} \cdot \ln \frac{d_{\text{ex}}}{d_0}. \quad (9)$$

Характеристики влажного воздуха и окружающей среды, использованные для расчетов по уравнениям (7–9), приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Теплотехнические характеристики влажного воздуха и окружающей среды

Характеристика	Обозначение	Единицы измерения	Величина
Температура влажного воздуха	$T_{\text{вх}} = t_{\text{вх}} + 273$	К	293
Давление влажного воздуха перед подачей в ДВС	$p_{\text{вх}} = p_0$	Па	98642
Относительная влажность воздуха	$\varphi$	%	70
Влагосодержание	$d = d_0$	г/кг с.в.	0,0105
Температура окружающей среды	$T_0 = t_0 + 273$	К	293
Давление окружающей среды	$p_0$	Па	98642

С учетом данных табл. 4 термическая эксергия воздуха  $e_{\text{ex}}^t = 0$ , влажностная составляющая эксергии воздуха  $e_{\text{ex}}^s = 0$  и механическая эксергия воздуха  $e_{\text{ex}}^m = 0$ . Следовательно, удельная эксергия влажного воздуха  $e_{\text{вл.вх}} = 0$ .

Удельная эксергия потока воды, кДж/кг, определяется по формуле [4]:

$$e_{\text{ж}} = T_0 \cdot \left[ c_{p,n} \left( \frac{T_{\text{ж}}}{T_0} - 1 - \ln \frac{T_{\text{ж}}}{T_0} \right) + r_{\text{ж}} \left( \frac{1}{T_{\text{ж}}} - \frac{1}{T_0} \right) + R_{\text{н}} \cdot \ln \frac{P_{\text{н.ж}}}{\varphi_0 \cdot P_{\text{н.о.с}}} \right], \quad (10)$$

где  $c_{p,n}$  – средняя изобарная теплоемкость водяного пара (1,8671 кДж/(кг·К));  $r_{\text{ж}}$  – удельная теплота парообразования при температуре  $T_{\text{ж}}$ , кДж/кг;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха в окружающей среде;  $P_{\text{н.ж}}$  и  $P_{\text{н.о.с}}$  – давление насыщения водяных паров над водой при температуре  $T_{\text{ж}}$  и  $T_0$ , Па;  $R_{\text{н}}$  – газовая постоянная водяного пара, ( $R_{\text{н}} = 0,461$  кДж/(кг·К)). Значения  $r_{\text{ж}}$ ,  $P_{\text{н.ж}}$ ,  $P_{\text{н.о.с}}$  приняты в зависимости от соответствующих температур [4].

Полная термическая эксергия расходуемой в отдельных элементах установки воды определяется из выражения:

$$E_{\mathcal{K}} = e_{\mathcal{K}T_i} \cdot G_i, \quad (11)$$

где  $e_{\mathcal{K}T_i}$  — удельная эксергия потока воды при соответствующей температуре, кДж/кг;  $G_i$  — расход воды, кг/с.

Эксергия потоков, покидающих двигатель, состоит из термических эксергий продуктов сгорания ( $E_{\text{пр.сг.вых.}}$ ), электрической энергии ( $E_e$ ), воды ( $E_{\mathcal{K}T_i}$ ) и масла ( $E_M$ ).

Удельная эксергия продуктов сгорания, кДж/м<sup>3</sup>, определяется из выражения [6]:

$$e_{\text{пр.сг.вых.}} = \Delta e_p + \Delta e_t + e_x, \quad (12)$$

где  $\Delta e_p$ ,  $\Delta e_t$ ,  $\Delta e_{\text{пр.сг.х.}}$  — соответственно удельное изобарное и термическое изменение эксергии, и удельная химическая эксергия продуктов сгорания в интервале температур ( $T - T_0$ ), кДж/м<sup>3</sup>, где  $T = T_{\text{пр.ср.1}}$ .

Продукты сгорания имеют следующий состав, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>: CO<sub>2</sub> — 1,03, O<sub>2</sub> — 2,03, H<sub>2</sub>O — 2,22, N<sub>2</sub> — 12,66. Удельное изобарное изменение эксергии в интервале температур ( $T - T_0$ ) равно:

$$\Delta e_p = \Delta i|_{T_0}^T - T_0 \cdot \Delta s|_{T_0}^T, \quad (13)$$

где  $\Delta i|_{T_0}^T$ ,  $\Delta s|_{T_0}^T$  — соответственно изменение удельной энталпии и удельной энтропии продуктов сгорания в интервале температур ( $T_0 - T$ ), кДж/м<sup>3</sup>:

$$\Delta i|_{T_0}^T = c'_p \cdot (T - T_0), \quad (14)$$

$$\Delta s|_{T_0}^T = c'_p \cdot \ln \frac{T}{T_0}, \quad (15)$$

где  $c'_p$  — средняя изобарная, объемная теплоемкость продуктов сгорания в интервале температур ( $T_0 - T_{\text{пр.ср.1}}$ ), кДж/(м<sup>3</sup>·гр). Для интервала ( $T_0 - T_{\text{пр.ср.1}}$ )  $c'_p = 1,4269$  кДж/(м<sup>3</sup>·гр).

Удельное термическое превышение эксергии:

$$e_t = n \cdot R_{\mu} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{p}{p_0}. \quad (16)$$

Давление продуктов сгорания в газоходе за двигателем принято равным 110 000 Па. Удельная химическая эксергия продуктов сгорания,

$$e_x = R_{\mu} \cdot T_0 \cdot \sum n_i \cdot \ln \frac{z_i}{z_{0i}}, \quad (17)$$

где  $z_i$  и  $z_{0i}$  — мольное содержание компонента в продуктах сгорания и окружающей среде,  $z_i = n_i$ ;

$R'_{\mu}$  — универсальная газовая постоянная, отнесенная к 1 м<sup>3</sup> продуктов сгорания,

( $R'_{\mu} = 0,3712$  (кДж/(м<sup>3</sup>·гр));  $n_i$  — количество киломолей  $i$ -го компонента, кмоль (CO<sub>2</sub> — 0,046; O<sub>2</sub> — 0,059; H<sub>2</sub>O — 0,099; N<sub>2</sub> — 0,57)).

Результаты расчетов удельной эксергии продуктов сгорания представлены в таблице 5.

**Таблица 5** — Результаты расчетов удельной эксергии продуктов сгорания

Наименование	Обозначение	Значение, кДж/м <sup>3</sup>
Удельное изобарное изменение эксергии	$\Delta e_p$	276,64
Удельное термическое изменение эксергии	$e_t$	9,17
Удельная химическая эксергия	$e_x$	17,6
Удельная эксергия продуктов сгорания	$e_{\text{пр.сг.вых.}}$	303,41

Эксергия общего количества продуктов сгорания определяется из выражения:

$$E_{np,ce} = e_{np,ce} \cdot V_{np,ce} \cdot B, \quad (18)$$

где  $V_{np,ce}$  — суммарный объем продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

В процессе работы установки вырабатывается электроэнергия в количестве 175 кВт.

$$E_3 = N = 150 \text{ кДж/с.}$$

Удельная эксергия потока воды на выходе из ДВС определяется по формуле (10).

В данном случае полезно используемой эксергией будет являться сумма эксергий воды, поступающей из двигателя при температуре  $t_5$ , выработанной электрической энергии и продуктов сгорания, используемых в дальнейшем для додревания сетевой воды.

Исходя из вышесказанного, эксергетический КПД блока «ДВС-электрогенератор» определяется из выражения:

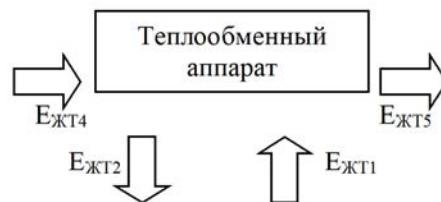
$$\eta_{3}^{ДВС+Э} = \frac{E_{жт5} + E_3 + E_{np,ce,1}}{E_T + E_{Bт,ex} + E_{жт4}}. \quad (19)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 6.

Следующим анализируемым блоком является теплообменный аппарат системы охлаждения двигателя, схема потоков эксергии в котором представлена на рис. 3.

**Таблица 6** — Значения потоков эксергий и эксергетического КПД для блока «ДВС-электрогенератор»

Наименование потока эксергии	Обозначение	Значение, кДж/с
Топливо (природный газ)	$E_T$	355,9
Влажный воздух	$E_{Bт,ex}$	0
Вода на входе в ДВС при $t_4$	$E_{жт4}$	16,84
Продукты сгорания	$E_{np,ce,1}$	43,31
Электрическая энергия	$E_3$	150
Вода на выходе из ДВС при $t_5$	$E_{жт5}$	14,8
Эксергетический КПД	$\eta_{3}^{ДВС+Э}$	0,56



**Рисунок 3** — Схема потоков эксергии в теплообменном аппарате.

На рис. 3  $E_{жт1}$  — термическая эксергия воды, поступающая в теплообменный аппарат из обратной системы теплоснабжения при температуре  $t_1$ , кДж/с;  $E_{жт4}$  — термическая эксергия воды, поступающая в теплообменный аппарат из ДВС при температуре  $t_4$ , кДж/с;  $E_{жт5}$  — термическая эксергия воды, поступающая в ДВС из теплообменного аппарата при температуре  $t_5$ , кДж/с;  $E_{жт2}$  — термическая эксергия воды, на выходе из теплообменного аппарата при температуре  $t_2$ , кДж/с.

В данном случае термическая эксергия потоков, поступающих в аппарат, включает в себя термические эксергии воды из обратной системы теплоснабжения ( $E_{жт1}$ ) и из системы охлаждения двигателя ( $E_{жт4}$ ).

Термическая эксергия потоков, покидающих теплообменный аппарат, включает в себя термические эксергии воды при температурах  $t_5$  ( $E_{жт5}$ ) и  $t_2$  ( $E_{жт2}$ ).

Полезной эксергией теплообменного аппарата является подогрев воды из обратной системы теплоснабжения от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$ , т. е. ( $E_{жт2} - E_{жт1}$ ). При этом затраченной эксергии является охлаждение воды, поступающей из ДВС — ( $E_{жт4} - E_{жт5}$ ).

Следовательно, эксергетический КПД теплообменного аппарата определяется из выражения:

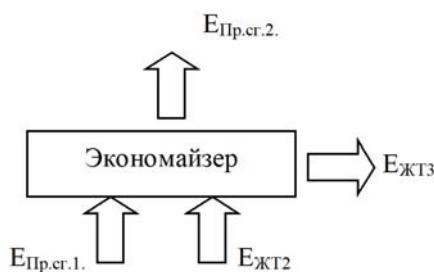
$$\eta_{\text{э}}^{\text{TA}} = \frac{E_{\text{жT2}} - E_{\text{жT1}}}{E_{\text{жT4}} - E_{\text{жT5}}} \quad (20)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 7.

Важным элементом конструкции когенерационной установки, принятым для рассмотрения, является экономайзер, контрольная поверхность которого с указанием всех потоков эксергии представлена на рис. 4.

**Таблица 7** – Значения потоков эксергий и эксергетического КПД для теплообменного аппарата

Наименование потока эксергии	Обозначение	Значение, кДж/с
Вода на входе в теплообменный аппарат из обратной системы теплоснабжения при $t_1$	$E_{\text{жT1}}$	25,87
Вода на входе в теплообменный аппарат из системы охлаждения ДВС при $t_4$	$E_{\text{жT4}}$	16,84
Вода на выходе из теплообменного аппарата в систему охлаждения ДВС при $t_5$	$E_{\text{жT5}}$	14,8
Вода на выходе из теплообменного аппарата в экономайзер при $t_2$	$E_{\text{жT2}}$	26,41
Эксергетический КПД	$\eta_{\text{э}}^{\text{TA}}$	0,26



**Рисунок 4** – Схема потоков эксергии в экономайзере.

На рис. 4  $E_{\text{жT2}}$  – термическая эксергия воды, предварительно подогретой в теплообменном аппарате 3 на входе в экономайзер при температуре  $t_2$ , кДж/с;  $E_{\text{Пр.сг.1}}$  – термическая эксергия продуктов сгорания на входе в экономайзер из ДВС 1, кДж/с;  $E_{\text{жT3}}$  – термическая эксергия воды на выходе из экономайзера при температуре  $t_3$ , кДж/с;  $E_{\text{Пр.сг.2}}$  – термическая эксергия продуктов сгорания на выходе из экономайзера в дымовую трубу, кДж/с.

В экономайзер поступают следующие эксергетические потоки: эксергия воды, поступающей из теплообменного аппарата 3 при температуре  $t_2$  и эксергия продуктов сгорания из ДВС.

Покидают экономайзер эксергетические потоки воды при  $t_3$  и охлажденных продуктов сгорания.

Расчет термической эксергии продуктов сгорания производится по формулам (12–17), при этом средняя изобарная, объемная теплоемкость продуктов сгорания в интервале температур ( $T_o - T_{\text{пр.сг.2}}$ ) составит 1,2862 кДж/(м<sup>3</sup>·гр).

Давление продуктов сгорания в газоходе за экономайзером равно атмосферному. Следовательно, термическое изменение эксергии  $e_t = 0$ .

В рассматриваемом случае положительным технологическим эффектом является подогрев сетевой воды и охлаждение продуктов сгорания. А значит, эксергетический КПД экономайзера определяется из выражения:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{(E_{\text{жT3}} - E_{\text{жT2}}) + (E_{\text{Пр.сг.1}} - E_{\text{Пр.сг.2}})}{E_{\text{Пр.сг.1}}} \quad (21)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 8.

**Таблиця 8** – Значення потоків ексергій і ексергетического КПД для економайзера

Наименование потока эксергии	Обозначение	Значение, кДж/с
Вода на входе в экономайзер при $t_2$	$E_{ж2}$	26,41
Продукты сгорания на входе в экономайзер	$E_{п.с21}$	43,31
Вода на выходе из экономайзера при $t_3$	$E_{ж3}$	28,3
Продукты сгорания на выходе из экономайзера	$E_{п.с22}$	8,04
Эксергетический КПД	$\eta_{\exists}^{KY}$	0,85

Формула для определения эксергетического КПД всей когенераціонної установки имеет вид:

$$\eta_{\exists}^{KY} = \frac{E_{\exists} + (E_{жT3} - E_{жT1}) - E_{п.с2,2}}{E_T}. \quad (22)$$

В соответствии с вышеизложенным,  $\eta_{\exists}^{KY} = 0,41$ .

**Выводы.** Приведенная выше методика эксергетического анализа когенераціонної установки позволяет проанализировать как значения потоков эксергий рабочих тел, так и полученные значения КПД отдельных узлов установки. В соответствии с полученными результатами наименьший эксергетический КПД имеют теплообменный аппарат системы охлаждения двигателя и сам ДВС. Следовательно, разработав мероприятия, позволяющие повысить КПД данных блоков, можно повысить эффективность работы всей установки в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Галузева програма енергоефективності та енергозбереження в житлово-комунальному господарстві на 2010–2014 рр. – К. : Міністерство з питань житлово-комунального господарства, 2009. – 26 с.
- Долінський А. А. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації : у 2-х т. / А. А. Долінський, Б. І. Басок та ін. – К. : 2007. – 370 с.
- Коломейко Д. А. Аналіз енергетичної ефективності когенераціонної установки фірми WILSON типу PG1250B / Коломейко Д. А., Коренев І. Ю. // Промисленна теплотехника. – 2005. – Т. 27. – № 3. – С. 46–49.
- Эксергетические расчеты технических систем : [справ. пособ.] / Бродянский В. М., Верхивкер Г. П., Карчев Я. Я. [и др.] ; под. ред. Долинского А. А., Бродянского В. М. // АН УССР. Ин-т технич. теплофизики. – К. : Наукова думка, 1991. – 360 с.
- Бродянский В.М. Эксергетический метод и его приложения / Бродянский В. М. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
- Шаргут Я. Эксергия / Шаргут Я., Петела Р. – М. : Энергия, 1968. – 278 с.

Получено 16.09.2010

Е. І. ДМИТРОЧЕНКОВА  
ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ РЕКОНСТРУЙОВАНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Наведено результати ексергетичного аналізу когенераційної установки на базі реконструйованого двигуна внутрішнього згоряння. Описано конструкцію розглянутої дослідно-промислової установки, яка для аналізу розділена на окремі блоки. Для кожного з них представлена контрольна поверхня із вказівкою всіх потоків ексергій і визначені значення ексергетичної ефективності. Також визначена ефективність роботи всієї установки в цілому.  
ексергетичний аналіз, когенераційна установка, контрольна поверхня, потік ексергії, ексергетична ефективність

E. I. DMITROCHENKOVA

EXERGY ANALYSIS OF COGENERATION PLANT BASED ON REFURBISHED  
INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper has proposed the results of exergy analysis of the cogeneration plant based on the refurbished internal combustion engine. The design of the pilot plant divided into separate blocks for analysis has been presented. There is a reference surface with the direction of all exergy flows for each of them; the exergy efficiency has been also determined. Facility effectiveness of the plant has been evaluated on the whole.  
**exergy analysis, cogeneration plant, reference surface, exergy flow, exergy efficiency**

**Дмитроченкова Елла Ігорівна** — асистент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання когенераційних технологій в системах теплопостачання.

**Дмитроченкова Элла Игоревна** — ассистент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: применение когенерационных технологий в системах теплоснабжения.

**Dmitrochenkova Ella Igorevna** — a teaching fellow of the Heat Engineering, Gas Supply, and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interest: application of cogeneration procedures and techniques technologies in heating systems.

УДК 811.111: 696.2.046

**Ю. А. ГОЛОВАЧ, В. И. ЗАХАРОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРА ПОТОКА ОТКАЗОВ ОТ ДИАМЕТРА ГАЗОПРОВОДОВ**

Выполнен анализ влияния диаметра газопровода на значение параметра потока отказов. Сделан вывод о необходимости учитывать толщину стенки газопровода для уточнения зависимости параметра потока отказов от диаметра газопроводов.  
**надежность, диаметр газопровода, параметр потока отказов**

**Формулировка проблемы.** Современные распределительные системы газоснабжения представляют собой сложные, разветвленные и протяженные газотранспортные системы. Отказ отдельных элементов системы, т. е. выключение их из работы, приводят к аварийным ситуациям, в результате которых народное хозяйство несет значительный материальный ущерб, а население городов временно лишается источников тепла.

Теория надежности технических устройств и сложных технических систем, к которым относятся системы газоснабжения, а также ее математический аппарат в значительной степени разработаны. Вместе с тем специфические особенности распределительных систем газоснабжения приводят к необходимости разработки специального раздела надежности, задачами которого является изучение вопросов проектирования, расчета и организации эксплуатации систем для обеспечения надежного газоснабжения потребителей. Одной из задач этого раздела является обоснование численных значений параметров потока отказов для элементов системы и их прогнозирование.

Параметр потока отказов является одним из наиболее важных показателей надежности для трубопроводных систем. Существует несколько точек зрения относительно зависимости параметра потока отказов от диаметра газопровода. Точность определения этого параметра имеет большое значение при проектировании газораспределительных сетей, в частности для выбора резерва пропускной способности кольцевых сетей, поэтому исследование данной проблемы является актуальным.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам надежности систем газоснабжения и, в частности, рассмотрению зависимости параметра потока отказов от различных факторов посвящены работы многих авторов. Среди них А. А. Ионин [1, 5], Д. Б. Баясанов [2], В. А. Жила [3, 5], В. А. Оленин [6], Ю. М. Белодворский [7] и другие. Анализ научной литературы показал, что при рассмотрении вопроса зависимости параметра потока отказов от диаметра газопроводов существуют две точки зрения. Согласно первой, параметр потока отказов не зависит от диаметра участка ( $\omega = \text{const}$ ), и надежность сети при этом определяется только ее схемой [1]. Согласно второй точки зрения, параметр потока отказов зависит от диаметра участка [ $\omega = f(D)$ ], а надежность сети зависит как от конструкции сети, так и от набора диаметров участков, представленных в ней [2].

Несмотря на наличие определенного статистического материала по отказам газопроводов, считать, что экспериментально доказана та или иная точка зрения, нельзя, так как сбор и анализ данных о повреждаемости газовых сетей сопровождаются значительными трудностями и затратами времени.

**Цель данной статьи** — выполнить анализ влияния диаметра газопровода на значение параметра потока отказов.

Не вызывает сомнения, что решение поставленной задачи может быть получено только на основании анализа причин отказов газопроводов.

Согласно многочисленным данным, опубликованным в специальной литературе [1, 3, 4], отказы газопроводов возникают при нарушении их герметичности вследствие механических повреждений, коррозионных повреждений и разрывов сварных стыков.

Механические повреждения газопроводов возникают при неправильном или небрежном производстве различных дорожных, строительно-монтажных или земляных работ вблизи мест их прокладки. При соответствующем улучшении работы службы надзора количество механических повреждений можно существенно уменьшить. С этой позиции «механические повреждения не следует рассматривать как отказы элементов газовых сетей» [5]. Вполне очевидно, что механическим повреждениям в большей степени подвержены газопроводы с меньшей толщиной стенки, а, следовательно, и меньшего диаметра. Корреляционная связь между этими величинами показана В. А. Оленевым [6]. Для сортамента распределительных газопроводов  $57 \times 3$ ;  $70 \times 3$ ;  $89 \times 3$ ;  $108 \times 4$ ;  $133 \times 4$ ;  $159 \times 4,5$ ;  $168 \times 5$ ;  $219 \times 6$ ;  $273 \times 7$ ;  $325 \times 7$ ;  $377 \times 8$ ;  $426 \times 9$  им предложена формула

$$D_{cp}\delta = 0,1088 \cdot D_{\text{вн}}^{1,56}, \quad (1)$$

где  $D_{cp}$  и  $D_{\text{вн}}$  – соответственно средний и внутренний диаметры трубопровода,  $\delta$  – толщина стенки трубопровода.

Если принять, что средний и внутренний диаметры примерно равны, то  $\delta \approx 0,11 \cdot D_{cp}^{0,56}$ .

Так, в работе [7] отмечается: «Нетрудно обнаружить, что наибольшее количество утечек газа падает на те участки или узлы газопроводов, которые являются самыми слабыми, непрочными, менее защищенными от внешних нагрузок и влияний, построенными из труб небольшого диаметра». Помимо более высокой механической прочности газопроводы больших диаметров обычно расположены вблизи ГРП, где контроль за проведением строительных и других работ осуществляется более тщательно.

Довольно большое количество повреждений газопроводов возникает из-за коррозионного воздействия грунта или ближайших токов вследствие нарушения изоляции газопроводов. Электрохимическая коррозия способствует образованию местных язв и каверн, которые могут превратиться в сквозные отверстия в стенке трубопровода. Дефекты изоляции можно рассматривать как случайные и редкие события, количество которых мало зависит от диаметра газопровода, и их можно считать лишь пропорциональными длине [3]. Тем не менее, появление сквозных коррозионных повреждений газопроводов в местах нарушения изоляции в определенной мере будет зависеть от толщины стенки трубы, так как при малой толщине стенки сквозное повреждение появляется быстрее. Учитывая апериодический характер нарастания глубины каверны во времени, можно с уверенностью утверждать, что газопроводы с большей толщиной стенки (большего диаметра) будут иметь большую наработку на отказ [8]. Так, с увеличением толщины стенки с  $\delta_1$  до  $\delta_2$  (рисунок 1) наработка на отказ увеличивается с  $t_1$  до  $t_2$ . Причем увеличение наработки с некоторого момента становится нелинейным по отношению к изменению толщины, т. е. наработка будет возрастать быстрее, чем толщина стенки.

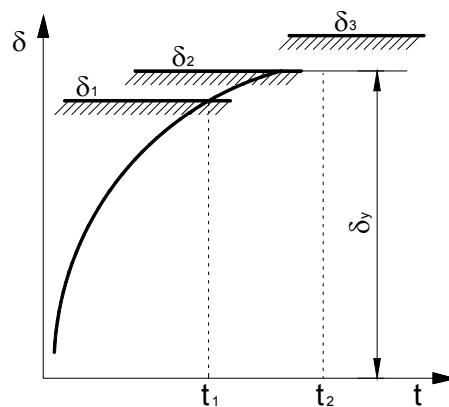


Рисунок 1 – Развитие коррозионной каверны во времени:  $\delta$  и  $\delta_y$  – текущая и установившаяся глубина каверны.

Более того, согласно работе [8] для каждой конкретной обстановки существует установившаяся глубина каверны. Если она меньше, чем толщина стенки, сквозное отверстие и потеря трубой герметичности могут вообще не возникнуть.

Разрывы сварных швов происходят под действием напряжений, возникающих в газопроводах в продольном направлении. Основная составляющая суммарного напряжения — температурное напряжение. Температурные напряжения или не зависят от диаметра трубопровода, или эта зависимость незначительна и явно не обнаруживается [2]. Это позволяет сделать вывод о том, что параметр потока отказов, связанных с разрывом сварных швов, практически не зависит от диаметра.

Приведенная в работе [5] зависимость удельной коррозионной повреждаемости газопроводов от их диаметров отвечает на поставленный вопрос вполне однозначно — значение параметра потока отказов зависит от диаметра газопровода (рисунок 2).

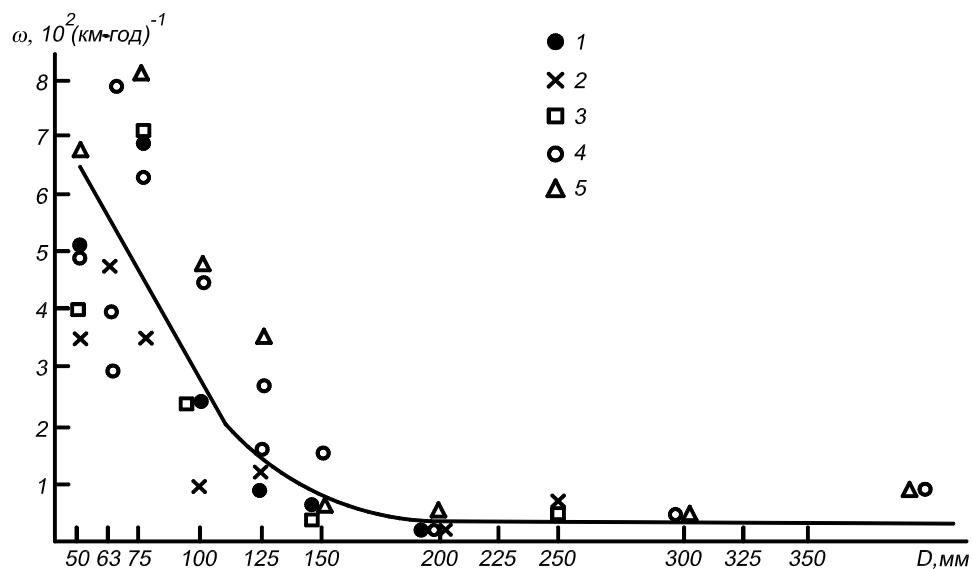


Рисунок 2 — Залежність удельної корозійної повреждаемості  $\omega$  від діаметра газопроводу: время обнаружения повреждений: 1 — 1966 г.; 2 — 1967 г.; 3 — 1968 г.; 4 — 1969 г.; 5 — 1970 г.

На основании данных, приведенных в [4], были составлены исходные данные для получения зависимости параметр потока отказов от значений средних диаметров ( $D_{cp}$ ) и комплексной величины  $\lambda$ , представляющей собой произведение среднего диаметра на толщину стенки газопровода ( $D_{cp} \cdot \delta$ ).

Средний диаметр газопровода определяется по формуле (2).

$$D_{cp} = \frac{D_n + D_{bh}}{2}, \quad (2)$$

где  $D_n$  и  $D_{bh}$  — соответственно наружный и внутренний диаметр газопровода, мм.

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Залежність інтенсивності отказів від діаметра газопроводу

Условный диаметр $D_y$ , мм	Наружный диаметр $D_n$ , мм	Толщина стенки газопровода $\delta$ , мм	Средний диаметр $D_{cp}$ , мм	Комплексная величина $\lambda$ , $\text{мм}^2$	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^5$ , $1/(\text{м} \cdot \text{год})$
80	89	3	86	258	307
100	108	4	104	416	38
125	133	4	129	516	20
150	159	4,5	154,5	695,25	1

При помощи программы CurveExpert 1.3 было получено, что данные зависимости интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода описывается уравнением

$$\lambda \cdot 10^5 = 0,0031 \cdot e^{988,28/D_{cp}}, \quad (3)$$

а зависимость интенсивности отказов от комплексной величины  $\chi$  — уравнением

$$\lambda \cdot 10^5 = 1,09 \cdot e^{1456,41/\chi}. \quad (4)$$

На рисунках 3 и 4 показано, как полученные зависимости аппроксимируют исходные данные, представленные в таблице 1.

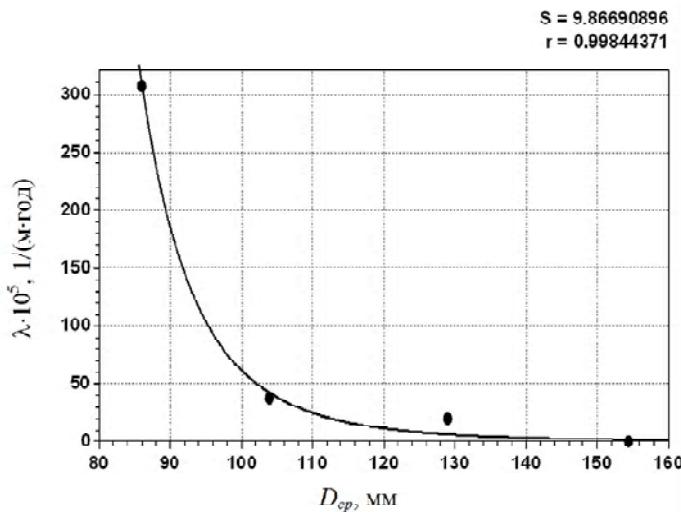


Рисунок 3 — Зависимость интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода.

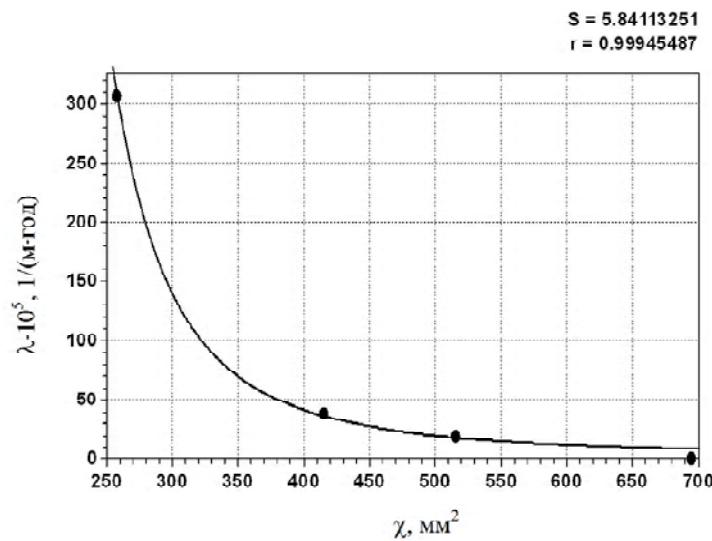


Рисунок 4 — Зависимость интенсивности отказов от комплексной величины  $\chi$ .

Проверка значимости полученных зависимостей производилась с использованием числа Фишера. Для зависимости (3) число Фишера, рассчитанное по формулам [9],  $\hat{F} = 202,97$ , для зависимости (4)  $\hat{F} = 598,40$ , а табличное значение числа Фишера при уровне значимости 1 %  $F_{(3;4;1\%)}^m$  составляет 99,166 [9]. Таким образом, полученные уравнения (3) и (4) статистически значимо описывают результаты экспериментов. Уравнение, полученное для зависимости интенсивности отказов от комплексной величины  $\chi$ , дает большую точность ( $598,40 > 202,97$ ), следовательно, при расчетах параметра потока отказов следует учитывать толщину стенки газопровода.

### **Выводы.**

1. Анализ статистических данных, приведенных в [4], показал, что существует зависимость параметра потока отказов от диаметра газопроводов.

2. При получении зависимостей параметра потока отказов от диаметров газопроводов следует учитывать толщину стенки газопровода. Уравнения, которые учитывают толщину стенки газопровода, дают более точные результаты по сравнению с уравнениями, в которых учитывается только средний диаметр.

3. Полученные зависимости позволяют вычислять значения параметра отказа для диаметров, для которых нет данных по результатам эксплуатации. Эти данные могут быть использованы для проектных расчетов надежности.

Продолжение дальнейших исследований в данной области предусматривает сбор статистического материала о повреждении газопроводов различных диаметров и толщин стенок газопровода, на основании чего будут уточнены зависимости параметра потока отказов от величины диаметра и толщины стенок газопроводов. Такой подход позволит выявить оптимальные и экономичные пути резервирования газовых сетей и обеспечить высокую эксплуатационную надежность их работы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ионин А. А. Газоснабжение: [учебн. для вузов.] / Ионин А. А. — [4-е изд., перераб. и доп.] — М. : Стройиздат, 1989. — 439 с. : ил.
2. Баясанов Д. Б. Распределительные системы газоснабжения / Баясанов Д. Б., Ионин А. А. — М. : Стройиздат, 1977. — 407 с. : ил.
3. Надежность городских систем газоснабжения / А. А. Ионин, К. С. Алебеков, В. А. Жила, С. С. Затикян ; под ред. А. А. Ионина. — М. : Стройиздат, 1980. — 231 с.
4. Варфоломеев В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения / В. А. Варфоломеев, Я. М. Торчинский, Р. Н. Шевченко. — К. : Будівельник, 1988. — 238 с.
5. Ионин А. А. Интенсивность отказов участков газопроводов городских газовых сетей / Ионин А. А., Жила В. А. // Газовая промышленность. — 1972. — № 10. — С. 20–24.
6. Оленев В. А. Уточнение метода оптимизации распределительных сетей / Оленев В. А. // Изв. вузов. Нефть и газ, 1980. — № 11. — С. 74–76.
7. Белодворский Ю. М. Утечки газа, их причины и устранение / Белодворский Ю. М. — Л. : Недра, 1968. — 160 с.
8. Цикерман Л. Я. Диагностика коррозии трубопроводов с применением ЭВМ / Цикерман Л. Я. — М. : Недра, 1972. — 240 с.
9. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул : [учебн. пособ.] / Львовский Е. Н. — М. : Высшая школа, 1982. — 224 с.: ил.

Получено 29.09.2010

Ю. О. ГОЛОВАЧ, В. І. ЗАХАРОВ

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ ПАРАМЕТРА ПОТОКУ ВІДМОВ ВІД ДІАМЕТРА ГАЗОПРОВОДІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконаний аналіз впливу діаметра газопроводів на значення параметра потоку відмов. Зроблено висновок про необхідність враховувати товщину стінки газопроводу для уточнення залежності параметра потоку відмов від діаметра газопроводів.

**надійність, діаметр газопроводу, параметр потоку відмов**

YU. O. GOLOVACH, V. I. ZAKHAROV

ANALYSIS OF FLOW PARAMETER DEPENDENCE FAILURE FROM GAS PIPELINE DIAMETER

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of gas pipeline diameter impact on the parameter value of failure flow has been carried out. The conclusion of necessity to consider the gas pipeline wall thickness for improvement of the failure flow parameter from the gas pipeline diameter dependence has been done.

**reliability, gas pipeline diameter, failure flow parameter**

**Головач Юлія Олександрівна** — аспірант кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність розподільних систем газопостачання.

**Захаров Віктор Іванович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розподіл природного газу в умовах дефіциту газу; оперативне керування системами газопостачання; раціональне використання газоподібного палива.

**Головач Юлия Александровна** — аспирант кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность распределительных сетей газоснабжения.

**Захаров Виктор Иванович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

**Golovach Yulia Aleksandrovna** — a postgraduate of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: reliability of distribution networks of gas supply systems.

**Zakharov Victor Ivanovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: natural gas distribution in terms of gas deficiency, day-to-day gas supply systems management, a rational gas fuel application.

УДК 697.32

**А. А. ОЛЕКСЮК, Н. В. ДОЛГОВ**

Донбаська національна академія будівництва та архітектури

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ТРЕХКОНТУРНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С АККУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛЫ

Представлено математическое описание сложного тепломассообмена, протекающего в подогревательно-аккумуляторных установках с теплообменниками щелевого типа для систем горячего водоснабжения.

Получена расчетная формула по определению температуры горячей воды, находящейся в баке-аккумуляторе и изменяющейся во времени за счет неравномерности водопотребления в системах горячего водоснабжения коммунально-бытовых зданий в течении суток.

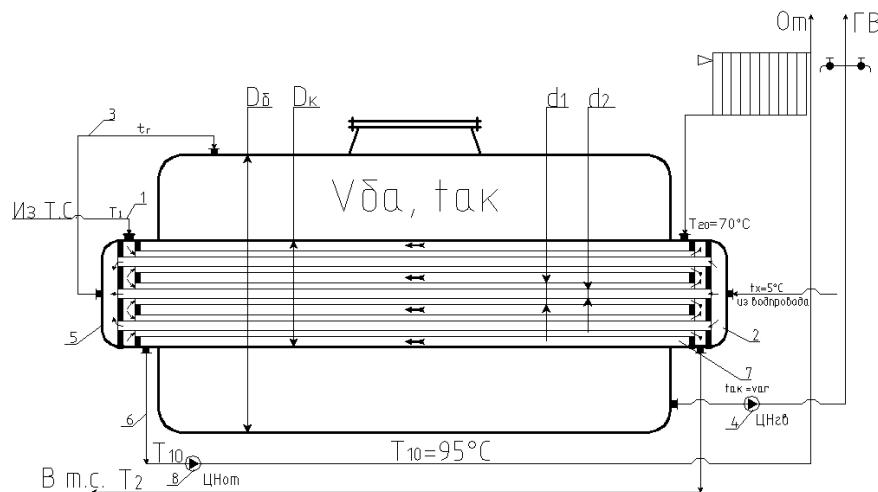
**система теплоснабжения, подогревательно-аккумуляторная установка, индивидуальный тепловой пункт, трехконтурный теплообменник, математическая модель**

**Формулировка проблемы.** Существующие конструкции водоводяных подогревателей, применяемых в системах горячего водоснабжения жилых районов при централизованном теплоснабжении, нуждаются в совершенствовании.

**Цель и формулировка задачи исследования.** Суть предложенной идеи состоит в следующем: теплообменник размещается внутри аккумулирующей емкости, которая служит для выравнивания пиковых нагрузок на графике суточного водопотребления систем централизованного горячего водоснабжения.

**Изложение основного материала исследований.** Установка (рис. 1) предназначена для нагрева холодной водопроводной воды для нужд горячего водоснабжения, а также для подогрева вторичного теплоносителя системы отопления от температуры  $T_{20} = 70^{\circ}\text{C}$  до температуры  $T_{10} = 95^{\circ}\text{C}$ .

Первичный теплоноситель с температурой  $T_1$  одновременно проходит по щелевому пространству, образованному трубками большего диаметра  $d_1$  и наружной поверхностью трубок меньшего  $d_2$  [2].



**Рисунок 1** – Конструкция трехконтурного теплообменника с баком-аккумулятором горячей воды.

Для интенсификации теплообмена вторичный теплоноситель системы отопления движется по межтрубному пространству, образованному трубками большего диаметра  $d_1$  и корпусом теплообменника, навстречу движения первичного теплоносителя  $T_{10}$ . Охладившись до температуры  $T_2$ , сетевая вода поступает в обратную линию теплосети. Водопроводная вода, нагреваемая в трубках меньшего диаметра  $d_2$  до температуры  $T_r$ , попадает в аккумулирующую емкость, в которой смешивается с водой, находящейся в аккумуляторе с искомой температурой  $t_{ak}$ . Затем из бака-аккумулятора горячая вода поступает в систему горячего водоснабжения.

Экономическая целесообразность использования трехконтурного теплообменника подтверждена лабораторными исследованиями, приведенными в литературе [3].

В данной работе рассматривается математическое обоснование процесса сложного тепломассообмена внутри аккумулирующей емкости, вызванного изменением объема воды в баке-аккумуляторе в течение суток.

Основываясь на характерных графиках неравномерности [1, лист 1V. 10] суточного теплопотребления в системах горячего водоснабжения, рассматривается упрощенный график, приведенный на рис. 2.

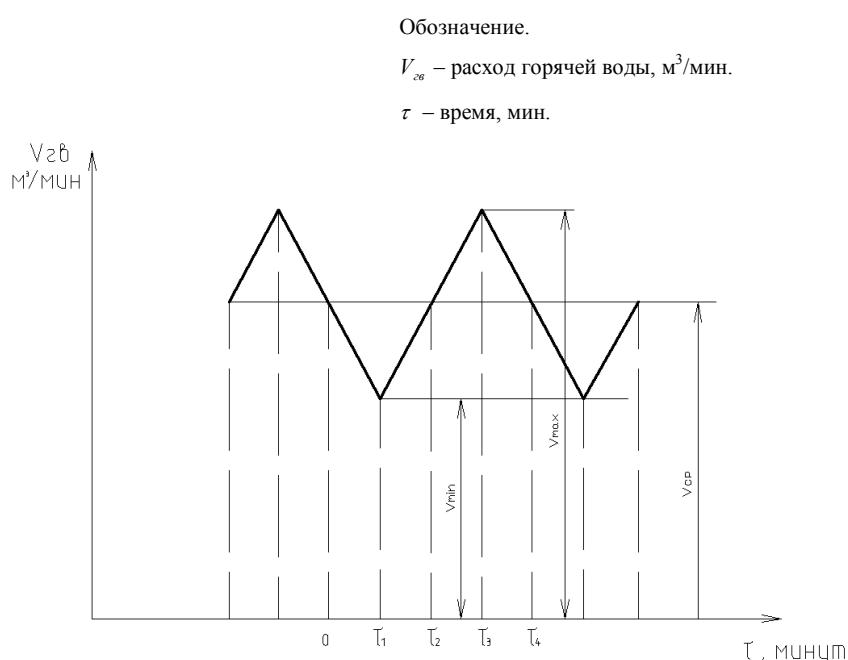


Рисунок 2 – Упрощенный график теплопотребления в системах горячего водоснабжения.

Принимается, что к началу процесса в баке-аккумуляторе находилось некоторое количество воды  $M$  с температурой  $t_0$ .

При  $\tau_2 = 0$ ,  $V_{\text{зб}} = V_{\text{cp}}$ , далее идет сокращение расхода воды и, соответственно, накопление воды в баке-аккумуляторе. В момент  $\tau_1$  потребление воды достигает минимума, а затем начинает расти. Однако накопление воды в баке-аккумуляторе продолжается до  $\tau_2$ , когда расход воды  $V$  равен  $V_{\text{cp}}$ , т. е. когда приток воды из теплообменника  $V_m$  становится равным его потреблению  $V_{\text{зб}}$ .

В дальнейшем начинается увеличение расхода воды из бака до времени  $\tau_3$ , когда потребление горячей воды достигает своего максимума, и далее снижается до  $\tau_4$ , когда потребление ее становится равным  $V_{\text{cp}}$ . При этом в баке остается некоторое количество воды  $M_o$ , которое было в момент времени  $\tau_0 = 0$ .

В момент времени  $\tau_1$  количество воды в баке может быть выражено зависимостью:

$$M_1 = M_0 + V_m \cdot \tau_1 - V_{\text{зб}}, \quad (1)$$

где  $M_1$  – количество воды в баке-аккумуляторе на время  $\tau_1$ , м<sup>3</sup>;  
 $V_{\text{зб}}$  – количество воды, израсходованной потребителями, м<sup>3</sup>.

Количество воды, вытекающей из бака на потребление за время  $\tau_1$ , можно записать в виде:

$$M_{\text{вс}} = \int_0^{\tau_1} V_{\text{вс}} \cdot d\tau. \quad (2)$$

При принятом линейном законе изменения расхода воды на потребление уравнения (2) можно записать:

$$M_{\text{вс}} = \int_0^{\tau_1} (a - \sigma \cdot \tau) \cdot d\tau. \quad (3)$$

Коэффициенты « $a$ » и « $\sigma$ » уравнения (3) определяются следующим образом:

При  $\tau = 0$ ; расход воды  $V_{\text{вс}}$  согласно рис. 1 равен  $V_{\text{cp}}$ .

Тогда

$$V_{\text{cp}} = a - \sigma \cdot 0. \quad (4)$$

Откуда  $a = V_{\text{cp}}$ .

При  $\tau = \tau_1$ ;  $V = V_{\text{min}}$ , тогда

$$V_{\text{min}} = V_{\text{cp}} - \sigma \cdot \tau_1. \quad (5)$$

Откуда

$$\sigma = \frac{V_{\text{cp}} - V_{\text{min}}}{\tau_1}. \quad (6)$$

С учетом соотношений (4) и (6) уравнение (3) перепишется в виде:

$$\begin{aligned} M_{\text{вс}} &= \int_0^{\tau_1} \left( V_{\text{cp}} - \frac{V_{\text{cp}} - V_{\text{min}}}{\tau_1} \cdot \tau \right) \cdot d\tau = V_{\text{cp}} \cdot \tau \left[ \frac{V_{\text{cp}} - V_{\text{min}}}{\tau_1} \cdot \frac{\tau^2}{2} \right]_0^{\tau_1} = V_{\text{cp}} \cdot \tau_1 - \frac{V_{\text{cp}} - V_{\text{min}}}{\tau_1} \cdot \frac{\tau_1^2}{2} = \\ &= \tau_1 \cdot \left( V_{\text{cp}} - \frac{V_{\text{cp}} - V_{\text{min}}}{2} \right) = 2 \frac{V_{\text{cp}} + V_{\text{min}}}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Далее составим уравнение баланса теплоты в дифференциальной форме:

$$dQ_m - dQ_p + dQ''_p - dQ_{\text{вс}} + dQ_{\alpha} = dQ_{\text{ак}}, \quad (8)$$

где  $dQ_m$  – поступление тепла в бак-аккумулятор с водой из теплообменника, Дж;

$dQ_p$  – то же с потоком циркуляционной воды, Дж;

$dQ''_p$  – унос теплоты водой для горячего водоснабжения, Дж;

$dQ_p'$  – то же с водой, которая возвратится, Дж;

$dQ_{\alpha}$  – приток теплоты к воде в баке-аккумуляторе за счет теплообмена со стенками теплообменника, Дж;

$dQ_{\text{ак}}$  – изменение теплосодержания воды в баке-аккумуляторе, Дж.

Составляющие уравнения теплового баланса (8) можно выразить следующим образом:

$$dQ_m = V_m \cdot \rho \cdot c \cdot t_m \cdot d\tau; \quad (9)$$

$$dQ_p' = V_p \cdot \rho \cdot c \cdot t_{\text{ак}} \cdot d\tau; \quad (10)$$

$$dQ''_p = V_p \cdot \rho \cdot c \cdot t_p \cdot d\tau; \quad (11)$$

$$dQ_{\text{вс}} = V_{\text{вс}} \cdot \rho \cdot c \cdot t_{\text{ак}} \cdot d\tau; \quad (12)$$

$$dQ_{\alpha} = \alpha \cdot (t_{\text{ак}} - t_{\text{вс}}) \cdot F \cdot d\tau; \quad (13)$$

$$dQ_{ak} = M_{ak} \cdot \rho \cdot c \cdot d \cdot t_{ak}, \quad (14)$$

где  $\rho$ ,  $c$  — плотность кг/м<sup>3</sup> и теплоемкость воды Дж/ (кг.град);  
 $t_m$  — температура воды, выходящей из теплообменника, °C;  
 $t_p$  — температура воды, возвращающейся в бак-аккумулятор от потребителей, °C;  
 $t_{ak}$  — температура горячей воды, выходящей из бака-аккумулятора к потребителям, °C;  
 $t_e$  — усредненная температура горячей воды в теплообменнике °C;  
 $\alpha$  — коэффициент теплопередачи от горячей воды в теплообменнике к воде в баке-аккумуляторе Вт/ (м<sup>2</sup>.град);  
 $F$  — поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;  
 $M_{ak}$  — объем воды в баке-аккумуляторе на время м<sup>3</sup>;  
 $V_p$  — расход циркуляционной воды, м<sup>3</sup>/мин.

На соответствующее время  $\tau$  объем воды  $M_{ak}$  может быть определен по уравнениям, аналогичным уравнениям (1—7).

При этом расход воды на потребление  $M_{ee}$  аналогично соотношению (7) может быть определен следующим образом:

$$M_{ee} = \int_0^{\tau} (V_{cp} - \frac{V_{cp} - V_{min}}{\tau_1}) d\tau = V_{cp} \tau \left| \frac{V_{cp} - V_{min}}{\tau_1} \cdot \frac{\tau^2}{2} \right|_0^{\tau} = V_{cp} \tau - \frac{V_{cp} - V_{min}}{\tau_1} \cdot \frac{\tau^2}{2} = V_{cp} \tau - \frac{V_{cp} - V_{min}}{2\tau_1} \tau^2. \quad (15)$$

С использованием соотношений (9—15) уравнение баланса тепла (8) запишется в виде:

$$\begin{aligned} V_m \cdot \rho \cdot c \cdot t_m \cdot d\tau - V_p \cdot \rho \cdot c \cdot t_{ak} \cdot d\tau + V_p \cdot p \cdot c \cdot t_p \cdot d\tau - (V_{cp} - \frac{V_{cp} - V_{min}}{\tau_1} \tau) \cdot \rho \cdot c \cdot t_{ak} \cdot d\tau + \alpha \cdot (t_e - t_{ak}) \cdot F \cdot d\tau = \\ = \left[ M_0 - (V_{cp} \cdot \tau - \frac{V_{cp} - V_{min}}{2\tau_1} \cdot \tau^2) + V_m \tau \right] \cdot \rho \cdot c \cdot dt_{ak}. \end{aligned} \quad (16)$$

В уравнении (16) все члены поделим на  $\rho \cdot c$  и выразим производную  $\frac{dt_{ak}}{d\tau}$  через другие величины:

$$\frac{dt_{ak}}{d\tau} = \frac{V_m \cdot t_m + V_p \cdot t_p + \frac{\alpha \cdot F}{\rho \cdot c} \cdot t_e - t_{ak} \left( \frac{\alpha \cdot F}{\rho \cdot c} + V_{cp} + V_p - \frac{V_{cp} - V_{min}}{\tau_1} \tau \right)}{\left[ M_0 + (V_m - V_{cp}) + \frac{V_{cp} - V_{min}}{2 \cdot \tau_1} \tau \right]}. \quad (17)$$

В знаменателе уравнения (17) величина  $V_m + V_{cp}$  должна быть равной нулю, в противном случае со временем количество воды в баке-аккумуляторе будет беспрерывно нарастать, стремясь в пределе к бесконечности, т. е.  $V_m = V_{cp}$ .

Далее ведем обозначения:  $V_m \cdot t_m + V_p \cdot t_p + \frac{2 \cdot F}{\rho \cdot c} t_e = a$ ;  $\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot c} + V_{cp} + V_p = b$ ;  $\frac{V - V_{min}}{\tau} = c$ .

С учетом этих обозначений уравнение (17) перепишется в виде

$$t'_{ak} = \frac{a}{M_0 + \frac{c}{2} \cdot \tau^2} - t_{ak} \cdot \frac{b - c\tau}{M_0 + \frac{c}{2} \cdot \tau^2}. \quad (17a)$$

Уравнение (17a) есть линейное дифференциальное уравнение первого порядка вида:

$$y' = f(x) \cdot y = g(x); \quad (18)$$

решение которого имеет вид:

$$y = e^{-F} (c + \int g(x) \cdot e^F \cdot dx); \text{ где } F(x) = \int f(x) \cdot dx. \quad (19)$$

В нашем случае в качестве переменной X служит время  $\tau$ , а в качестве искомой функции — температура в баке-аккумуляторе  $t_{ak}$ . Функции  $f(x)$  и  $g(x)$  будут иметь выражения:

$$f(x) \rightarrow f(\tau) = \frac{\theta - c\tau}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2}; \quad (20)$$

$$g(x) \rightarrow g(\tau) = \frac{a}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2} \quad (21)$$

Функция  $F(x)$  в уравнениях (19) определится так:

$$F(x) \rightarrow F(\tau) = \int f(\tau) \cdot d\tau = \int \frac{\theta - c\tau}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2} \cdot d\tau = \theta \int \frac{d\tau}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2} - c \int \frac{\tau \cdot d\tau}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2}. \quad (22)$$

В уравнении (22) интегралы являются табличными [4]

$$\int \frac{d\tau}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2} = \frac{2}{c} \sqrt{\frac{c}{2M_0}} \operatorname{arctg} \frac{\tau\sqrt{c}}{\sqrt{2M_0}} = \sqrt{\frac{2}{cM_0}} \operatorname{arctg} \frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}}; \quad (23)$$

$$\int \frac{\tau d\tau}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2} = \frac{1 \cdot 2}{2 \cdot c} \ln(M_0 + \frac{c}{2}\tau^2) = \frac{1}{c} \ln(M_0 + \frac{c}{2}\tau^2). \quad (24)$$

Следовательно:

$$F(x) \rightarrow F(\tau) = \theta \sqrt{\frac{2}{cM_0}} - \ln(M_0 + \frac{c}{2}\tau^2). \quad (25)$$

Исследуем величину  $\frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}}$ . Она изменяется в пределах от 0 до  $\frac{c\tau_1}{\sqrt{2cM_0}}$ , но согласно уравнению (22);

$$\frac{c\tau_1}{\sqrt{2cM_0}} = \frac{\frac{V_{cp} - V_{min}}{\tau_1} \tau_1}{\sqrt{2 \frac{V_{cp} - V_{min}}{\tau_1} \cdot M_0}} = \frac{V_{cp} - V_{min}}{\sqrt{2(V_{cp} - V_{min})M_0 / \tau_1}} \cdot \frac{\sqrt{V_{cp} - V_{min}}}{\sqrt{2M_0 / \tau_1}}. \quad (26)$$

Далее в формулу (1) подставим значение согласно формуле (7), получим:

$$M_1 = M_0 + V_m \tau_1 - \tau_1 \frac{V_{cp} + V_{min}}{2},$$

здесь  $V_m = V_{cp}$ , тогда получим:

$$M_1 = M_0 + \tau_1 \frac{V_{cp} - V_{min}}{2}. \quad (27)$$

Используя формулу (27), преобразуем соотношение (26)

$$\frac{c\tau_1}{\sqrt{2cM_0}} = \sqrt{\frac{V_{cp} - V_{min}}{2 \frac{M_0}{\tau_1}}} = \sqrt{\frac{M_1 - M_0}{M_0}}. \quad (28)$$

В формуле (28) величина  $(M_1 - M_0)$  – это приток воды в бак-аккумулятор за время  $\tau_1$ .

Если принять, что угол наклона линии  $V_{z\theta} = f(\tau)$  (см. рис. 2) одинаков на отрезках времени  $0 - \tau_1$ , и  $\tau_1 - \tau_2$ , то можно считать, что объем бака-аккумулятора будет равен:

$$M = 2(M_1 - M_0) + M_0;$$

откуда:

$$M_1 - M_0 = \frac{M - M_0}{2}. \quad (29)$$

Последнее соотношение подставим в формулу (28), получим

$$\frac{c\tau_1}{\sqrt{2cM_0}} = \sqrt{\frac{M - M_0}{2M_0}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{M}{M_0} - 1 \right)}. \quad (30)$$

Если далее принять, что  $M_0 = (0,15 \div 0,2)M$ , то выражение (30) примет значение

$$\frac{c\tau_1}{\sqrt{2cM_0}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \frac{M}{(0,15 \div 0,2)M} - 1 \right]} = 1,73 \div 1,43. \quad (31)$$

Таким образом, величина  $\frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}}$  в выражении (25) изменяется в пределах от 0 до (1,43...1,73).

По указанным пределам изменения исследуемой величины можно выбрать формулу для разложения в ряд величины  $\frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}}$  в (25). Необходимость такого разложения показана ниже.

В формуле (19) необходимо найти интеграл

$$\begin{aligned} \int g(x)e^F dx &= \int \frac{a}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2} \exp \left[ \epsilon \sqrt{\frac{2}{cM_0}} \operatorname{arctg} \frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}} - \ln \left( M_0 + \frac{c}{2}\tau^2 \right) \right] d\tau = \\ &= a \int \frac{1}{M_0 + \frac{c}{2}\tau^2} \cdot \frac{\exp \left[ \epsilon \sqrt{\frac{2}{cM_0}} \operatorname{arctg} \frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}} \right]}{\exp \left[ \ln \left( M_0 + \frac{c}{2}\tau^2 \right) \right]} d\tau = \\ &= a \int \frac{\exp \left[ \epsilon \sqrt{\frac{2}{cM_0}} \operatorname{arctg} \frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}} \right]}{\left( M_0 + \frac{c}{2}\tau^2 \right)^2} d\tau, \end{aligned} \quad (32)$$

так как  $\exp(\ln x) = x$ .

Формулу (32) можно представить в более компактном виде, если ввести обозначения  $\frac{c\tau}{\sqrt{2cM_0}} = z$ ,

тогда  $d\tau = dz \sqrt{\frac{2M_0}{c}}$ .

$$M_0 + \frac{c}{2}\tau^2 = M_0 \left( 1 + \frac{c\tau^2}{2M_0} \right) = M_0 (1 + z^2).$$

Подставляя в выражение (32) последние соотношения, получим

$$\int g(x)e^F dx = \frac{a}{M_0^2} \sqrt{\frac{2M_0}{c}} \int \frac{\exp \left[ \epsilon \sqrt{\frac{2}{cM_0}} \operatorname{arctg} z \right]}{\left( 1 + z^2 \right)^2} dz = \frac{a}{M_0} \sqrt{\frac{2}{cM_0}} \int \frac{\exp \left[ \epsilon \sqrt{\frac{2}{cM_0}} \operatorname{arctg} z \right]}{\left( 1 + z^2 \right)^2} dz. \quad (33)$$

Окончательная формула (33) позволяет численным методом определить температуру воды в бак-аккумуляторе, изменяющуюся во времени, которая вызвана неравномерностью суточного теплопотребления. Данная зависимость даёт возможность описать сложный тепломассообмен в подогревательно-аккумуляторных установках с теплообменниками щелевого типа.

**Вывод:** Приведенная выше математическая модель процессов тепломассообмена в трехконтурных теплообменниках с аккумулятором теплоты позволит, проанализировать как протекают процессы тепломассообмена в трехконтурных теплообменниках с аккумуляторами теплоты. Следовательно, позволит более качественно производить расчеты для подбора индивидуальных тепловых пунктов с аккумуляторами теплоты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олексюк А. А. Особенности режимов работы систем горячего водоснабжения с подогревательно-аккумуляторными установками / Олексюк А. А., Гущина Е. А. — М. : ВНИИИС по строительству и архитектуре, 1986. — № 6782. — Вып. 5.
2. Олексюк А. А. Оптимальный зазор щели в теплообменниках щелевого типа / Олексюк А. А., Засядько И. Н., Кулик В. И. // Наука и техника в городском хозяйстве : [респ. межв. сб.]. — К. : Будівельник, 1980. — Вып. 43. — С. 99—101.
3. Олексюк А. А. Применение щелевого теплообменника в системах горячего водоснабжения / Олексюк А. А., Кулик В. И., Засядько И. Н. // Наука и техника в городском хозяйстве : [респ. межв. сб.]. — К. : Будівельник, 1977. — Вып. XXXIV. — С. 99—101.
4. Лыков А. В. Тепломассообмен / Лыков А. В. — М. : Энергия, 1972. — 560 с.
5. Леонтьев А. И. Теория тепломассообмена / Леонтьев А. И. — М. : Высшая школа, 1979. — 495 с.
6. Львовский Е. Н. Статические методы построения эмпирических формул : [учебн. пособ.] / Львовский Е. Н. — М. : Высшая школа, 1982. — 224 с., ил.
7. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Шенк Х. — М. : Мир, 1972. — 381 с.
8. Кановец Г. Е. Обобщенный метод расчета теплообменников / Кановец Г. Е. — К. : Наукова думка, 1979. — 352 с.

Получено 21.09.2010

А. О. ОЛЕКСЮК, М. В. ДОЛГОВ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ТРИКОН-  
ТУРНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ З АКУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛОТИ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Представлено математичний опис складного тепломасообміну, що пронікає в підігрівально-акумуляторних установках з теплообмінниками щілинного типу для систем гарячого водопостачання.

Одержано розрахункова формула з визначення температури гарячої води, яка знаходиться в баці-акумуляторі, і змінюється в часі за розрахунок нерівномірності водопостачання в системах гарячого водопостачання комунально-побутових будівель протягом доби.

**система опалення, підігрівально-акумуляторна установка, індивідуальний тепловий пункт, триконтурний теплообмінник, математична модель**

A. O. OLEKSYUK, N. V. DOLGOV

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN THREE-  
CONTOUR HEAT EXCHANGERS WITH HEAT STORAGE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The mathematical classification of the complicated heat and mass exchange taking place in a heating-storage plants with slot-type heat exchangers for hot-water supply systems has been offered.

The design formula on the temperature determination of hot water being in a storage tank and changing during the period of time because of water consumption irregularity in the hot-water supply systems of public utilities during the twenty four hours has been derived.

**heating system, heating-storage plant, individual heat point, three-contour heat exchanger, mathematical model**

**Олексюк Анатолій Олексійович** — доктор технічних наук, професор кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Долгов Микола Вікторович** — викладач-стажер кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплопостачання.

**Олексюк Анатолий Алексеевич** — доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

**Долгов Николай Викторович** — преподаватель-стажер кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения.

**Oleksyuk Anatoly Alekseyevich** — a D. Sc. (Engineering), a Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy resources saving.

**Dolgov Mykola Victorovych** — an instructor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation in heating systems.

УДК 662.767.2:66.023

**Н. В. КОЛОСОВА, О. В. ЧЕБОТАРЁВА, В. А. СЕРБИН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СБРАЖИВАНИЯ БИОМАССЫ В МЕТАНТЕНКАХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА**

Разработана программа расчета технологических результатов сбраживания биомассы в метантенке для индивидуальных фермерских хозяйств. Проанализировано влияние некоторых факторов на выход биогаза и его состав.

**метантенк, сбраживаемая биомасса**

**Формулировка проблемы.** В настоящее время остро стоит проблема истощения природных энергоресурсов (нефть, природный газ, уголь). Добыча этих ресурсов связана с большими финансовыми затратами, следствием этого является высокая цена органического топлива. Еще одна проблема, связанная с применением традиционных энергоносителей — экологическая (выброс оксидов и вредных веществ). Поэтому применение возобновляемых источников энергии в настоящее время актуально.

К современным нетрадиционным источникам энергии (НИЭ) в основном относятся энергия солнца, ветра, биомассы и геотермальная энергия. Для использования энергии этих ресурсов необходимо первоначальное дорогостоящее оборудование и постоянный контроль за его работой. Исключением является биогаз. Первоначальная стоимость оборудование для получения биогаза ниже, чем у других НИЭ.

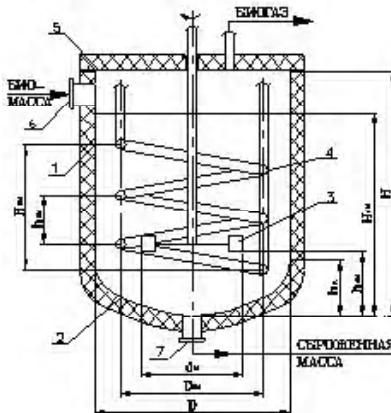
Для получения биогаза наиболее приемлемым исходным материалом являются отходы животноводческих комплексов, сбраживание которых даёт возможность получения газообразного топлива (биогаз).

**Анализ последних достижений.** Применение биогаза в мировой энергетике составляет около 12 % от всемирного энергопотребления [1]. Широкое распространение биогазовая энергетика получила в странах Европы. В Польше эксплуатируются 5 мощных установок, в основном по переработке навоза свиней. В Украине первая биогазовая установка (БГУ) была построена в 2003 году в Днепропетровской области для переработки навоза со свинофермы, на которой содержится 15 тыс. голов. В Крыму две БГУ сбраживают отходы свинофермы на 12 и 24 тыс. голов. В 2009 году сдана в эксплуатацию БГУ по переработке навоза на молочной ферме, в которой содержится 4 000 дойных коров [2].

Оптимальной конструкцией МТ для сбраживания биомассы с точки зрения статической прочности, создания условий для перемешивания жидкого субстрата, отвода сброшенной массы является резервуар яйцеобразной формы [3–5]. Получение биогаза и высококачественного удобрения обеспечивается при сбраживании в мезофильном режиме при температуре 35–45 °C. Однако при описании различных конструкций МТ и технологии сбраживания биомассы в них не затрагиваются вопросы их аналитического описания, а также процесса теплообмена в МТ и с окружающей средой.

**Цель и формулировка задачи исследования.** Настоящая работа посвящена разработке программы расчета процессов сбраживания и габаритных размеров МТ для конкретных условий индивидуального фермерского хозяйства.

**Изложение основного материала исследования.** Технология получения биогаза предусматривает использование в качестве сырья отходов животноводческих ферм (навоз), а так же любых легко разлагаемых органических веществ, перерабатываемых путём сбраживания в анаэробных условиях в специальных емкостях — метантенках (МТ) [3, 6]. Схема рассматриваемого МТ приведена на рис. 1.



**Рисунок 1** – Установка для сбраживания биомассы (метантенк): 1 – цилиндрическая часть; 2 – днище; 3 – турбинная мешалка; 4 – змеевик; 5 – крышка; 6 – патрубок для подачи свежей массы; 7 – патрубок для удаления сброшенной массы.

В данной работе рассматривается конструкция МТ, изготовленного из не реагирующего со сбраживаемой массой (СМ) кислотоупорного железобетона с толщиной стенок 50 мм, с подогревом и перемешиванием СМ.

Основными узлами МТ являются корпус, состоящий из цилиндрической части 1 и днища 2. Внутри корпуса МТ смонтирована турбинная мешалка 3 и змеевик 4.

Корпус закрывается крышкой 5, в которой имеются технологические отверстия для вала мешалки, подвода и отвода греющей воды и отвода биогаза.

Свежая биомасса поступает в МТ через патрубок 6, а сброшенная биомасса удаляется снизу через патрубок 7. Возможна конструкция МТ с отсосом сброшенной биомассы через крышку МТ.

Обозначение основных конструкционных размеров МТ представлены на рис. 1. Рассчитанные диаметры мешалки ( $d_m$ ) корректируются по размерам стандартно выпускаемого ряда.

Для максимально возможного выхода биогаза необходимо соблюдение всех рекомендуемых технологических параметров, основным из которых является поддержание постоянного температурного режима в метантенке. Для интенсивного протекания процесса сбраживания предусмотрен температурный интервал в пределах 35–45 °С. Поддержание постоянной температуры в метантенке обеспечивается подачей в змеевик воды, нагретой до 60 °С [5] в специальном котлоагрегате, на что затрачивается часть получаемого биогаза. В холодное время года расход газа на подогрев воды увеличивается до 30 % от суточного выхода. С целью уменьшения потерь тепла в окружающую среду МТ может покрываться теплоизоляцией.

Навоз различных групп животных отличается содержанием органической составляющей, что влияет как на выход биогаза, так и на содержание в нем  $\text{CH}_4$  [6]. Вместе с навозом из ферм удаляются остатки кормов и подстилочных материалов, которые тоже участвуют в процессе сбраживания. С целью учета перечисленных факторов была разработана усовершенствованная программа расчета выхода биогаза, содержания в нем  $\text{CH}_4$  и габаритных размеров МТ, по которой выполнен расчет для таких условий. В индивидуальном фермерском хозяйстве имеется 100 голов КРС, 15 свиней и 110 голов домашней птицы. Режим сбраживания мезофильный (расчетная температура  $t_{\text{сб}} = 40$  °С), подогрев СМ нагретой водой через змеевик, перемешивание 2–3 раза в сутки турбинной мешалкой.

По разработанной программе с учетом отходов кормов и подстилочного материала, а также длительности сбраживания  $\tau = 15$  суток [4]. Установлено, что выход биогаза составит 198,06 м<sup>3</sup>/сутки, содержание метана в нём 53,9 %, низшая теплота сгорания 18,23 МДж/м<sup>3</sup>.

Глубина сбраживания органической части СМ зависит от длительности ее пребывания в МТ. Обработка данных [7] позволила получить аналитическую зависимость доли сброшенной массы  $W_{\tau}$  от длительности сбраживания  $\tau$ :

$$W_{\tau} = (-48,13 + 27,72\tau - 1,76\tau^2 + 0,037\tau^3) \cdot 10^{-2},$$

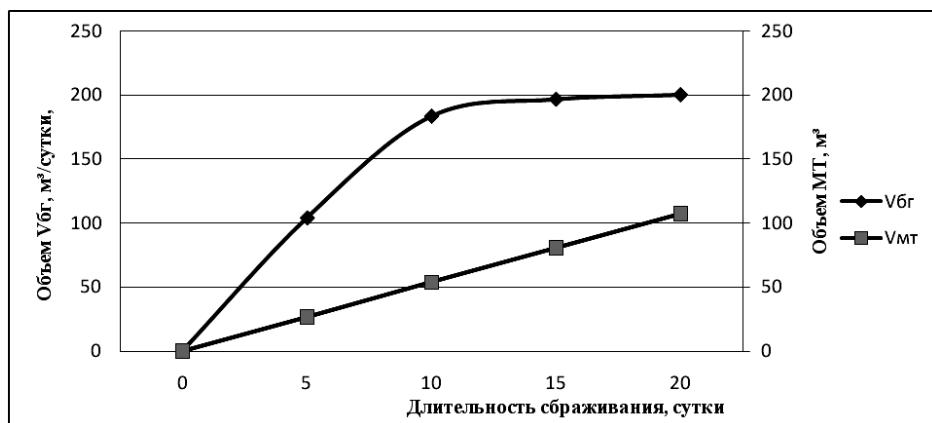
где  $W_{\tau}$  – доля сброшенной массы;

$\tau$  – время сбраживания, сутки.

Выполнен анализ зависимости выхода биогаза  $V_{бг}$  и требуемого объема МТ  $V_{мт}$  от  $\tau$ , результат которого приведен на рис. 2. Из графика видно, что значительный рост выхода биогаза происходит в течении первых 10 суток сбраживания. В дальнейшем выход биогаза замедляется и составляет всего 3 процента от всего объема выхода биогаза за период 20 суток. Можно сделать вывод, что рациональным сроком сбраживания является период от 10 до 15 суток.

При этом оптимальный объем МТ соответствует сбраживанию в течении 10–12 суток.

Выполнена оценка влияния увеличения числа голов скота каждой группы на суточный выход биогаза и содержание  $CH_4$  в нем. Результаты представлены в табл. 1.



**Рисунок 2** – Зависимость выхода биогаза  $V_{бг}$  и объема МТ  $V_{мт}$  от длительности сбраживания.

**Таблица 1** – Влияние изменения числа голов скота в каждой группе на суточный выход биогаза и содержание  $CH_4$

Группы скота	Кол-во	$\frac{V, m^3}{CH_4, \%}$						
КРС	100	196,53 53,94	100	198,48 53,97	100	205,40 54,59	200	382,22 53,57
Свиньи	15		15		30		15	
Дом. птица	110		220		110		110	

Как следует из приведенных данных, увеличение голов скота каждой из групп ведет к увеличению выхода биогаза. При этом наибольшее влияние оказывают КРС и наименьшее – домашняя птица.

**Выводы и рекомендации по дальнейшему использованию.** Анаэробный метод сбраживания отходов животноводческих ферм в отдельных хозяйствах будет способствовать получению собственного альтернативного газообразного топлива, которое может быть использовано в фермерском хозяйстве для собственных нужд, в частности, при наличии когенерационной установки для одновременного получения теплоты и электроэнергии.

Следующим этапом работы является разработка методики теплового расчета МТ и определение фактического объема биогаза, необходимого для поддержания стабильного теплового режима.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шейндлин А. Е. Размышления о некоторых проблемах энергетики / Шейндлин А. Е. : [лекции лауреатов международной энергетической премии «Глобальная энергия», 2004] ; [Электронный ресурс] / Режим доступа : [www.geprize.ru](http://www.geprize.ru)
- Внедренные биогазовые установки [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://zorgbiogas.ru/referens>.
- Баадер В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. ; пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного. –М. : Колос, 1982. – 148 с.
- Олексюк А.О. Енергозбереження при використанні нетрадиційних джерел: навч. посіб. / А.О.Олексюк, В.А.Сербін, Н.Ф.Радько. – Д.: ДАЖКГ Держжитлокомунгоспу України, 2004. – 156 с. – 150 пр.

5. Биомасса как источник энергии / Под ред. Б. С. Соуфера, О. Заборски. — М. : Мир, 1985. — 368 с.
6. Дубровский В.С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В.С. Дубровский, У.Э. Виестур. — Рига : Зинатне, 1988. — 204 с. — ISBN 5—7966—0056—7.
7. Братенков В.Н. Теплоснабжение малых населенных пунктов / В.Н. Братенков, П.А. Хаванов, Л.Я. Вэскер. — М. : Стройиздат, 1988. — 223 с. — 18700 экз. — ISBN 5—274—00100—9.

Получено 07.09.2010

Н. В. КОЛОСОВА, О. В. ЧЕБОТАРЬОВА, В. А. СЕРБІН  
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗБРОЖУВАННЯ БІОМАСИ В  
МЕТАНЕНКАХ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розроблена програма розрахунків технологічних результатів зброжування біомаси в метаненку. Запропонована конструкція метаненку для індивідуальних фермерських господарств. Проаналізовано вплив деяких факторів на вихід біогазу і його склад.

**метаненк, зброжувана біомаса**

N. V. KOLOSOVA, O. V. CHEBOTARYOVA, V. A. SERBIN  
HEAT EXCHANGE OF METHANE TANK WITH ENVIRONMENT FOR BIOMASS  
FERMENTATION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The determination procedure of thermal loss from methane tank into the environment has been proposed. The efficiency of the methane tank external surfaces thermal insulation for heat loss decrease has been demonstrated.

**methane tank, thermal insulation, heat exchange**

**Колосова Неллі Вадимівна** — студентка Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Чеботарєва Ольга Володимирівна** — магістр, завідувач лабораторії кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Сербін Володимир Артемович** — к.т.н., доцент кафедри «Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

**Колосова Нелли Вадимовна** — студентка Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

**Чеботарева Ольга Владимировна** — магистр, заведующая лабораторией кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

**Сербин Владимир Артемович** — к.т.н., доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

**Kolosova Nelly Vadimovna** — an undergraduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

**Chebotaryova Olga Vladimirovna** — an M. Ph. (Engineering), a laboratory manager of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

**Serbin Vladimir Artyomovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat Engineering, Gas Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy conservation.

УДК 621.355:541.135

**I. E. ЧЕРНИШЕНКО, В. В. НАЗАРОВА**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОЛІТУ ТА УМОВ  
ВЕДЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОЛІЗУ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ВИДІЛЕННЯ  
ГАЗУ НА ЕЛЕКТРОДАХ У ПРОЦЕСІ ПЕРЕРОБКИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ  
СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ**

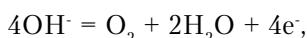
У статті проаналізована проблема виділення газу на електродах в електроліті з додаванням органічних домішок. У статті також наведені результати визначення впливу фізико-хімічних властивостей розчину і щільноті струму на інтенсивність виділення газу на електродах в електроліті на основі борфлюористоводневої кислоти на стадії електролізу при переробці відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторів. **переробка відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторів, борфлюористоводнева кислота, органічні домішки, електроліз**

**Вступ.** При переробці відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторів (ВСКА) електрохімічним методом використовують розчини, до складу яких входять токсичні сполуки, наприклад, електроліт на основі борфлюористоводневої кислоти — найбільш розповсюдженій електроліт для переробки ВСКА. На стадії електролізу в повітря попадають шкідливі речовини з різними токсикологічними властивостями.

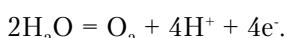
Основними забруднюючими речовинами, які можуть утворюватися в процесі переробки ВСКА на стадії електролізу з використанням електроліту на основі борфлюористоводневої кислоти, є трифторид бору ( $BF_3$ ), фтористий водень (HF), борфлюористоводнева кислота ( $HBF_4$ ) і фторборат свинцю ( $Pb(BF_4)_2$ ).

Найбільш розповсюджена схема переробки ВСКА електрохімічним методом передбачає на стадії електролізу використання нерозчинених анодів (графітових) і свинцевих катодів.

При електролізі водяних розчинів безкисневих кислот та їх солей (крім HF і фторидів) в аноді розряджаються аніони. На інертному аноді при електролізі водяних розчинів лугів, кислот, що вміщують кисень, та їх солей, а також флюористоводневої кислоти й фторидів відбувається електрохімічне окислювання води з виділенням кисню. Залежно від pH розчину цей процес протікає по-різному й може бути записаний різними рівняннями. У лужному середовищі рівняння має вигляд:



а в кислому або нейтральному:



Іони фтора не розряджаються. На катоді виділяється тільки свинець. При проведенні технології переробки ВСКА з використанням свинцевої пластиини як катода водень не виділяється. Це пов'язано з перенапругою водню на катоді.

Згідно з теоретичними уявленнями, у міру наближення до межі розділу електроліт — повітря як в рідкому, так і в повітряному середовищі турбулентність швидко зменшується і в найближчих до поверхні розділу шарах переважають процеси молекулярного перенесення. Відношення потоків бульбашкового і поверхневого молекулярного газообміну буде пропорційне сумарній площині поверхні бульбашок в товщі розчину, поверхні розчину, що доводиться на одиницю площині. З цього виходить,

що для оцінки інтенсивності бульбашкового газообміну необхідно знати функцію розподілу числа бульбашок під 1 см<sup>2</sup> водної поверхні і середньої площині однієї бульбашки по глибині.

Повітряна бульбашка, що знаходиться на поверхні, є нестійким утворенням і через нетривалий час руйнується, що супроводжується викидом в повітря дрібних крапельок. У міру підйому вершини бульбашки над рівнем електроліту відбувається стікання рідини з куполу, внаслідок чого верхня частина водної оболонки бульбашки стонується і, досягши критичної товщини, в ній утворюється отвір, який стрімко розширяється, приводячи до формування в місці зіткнення рухомої плівки з навколошньою рідиною кільцеподібного (тороїдального) піднесення і відділення від нього дрібних крапельок, званих плівковими. Надалі при зімкненні кільцевої хвилі в нижній частині бульбашки виникає вертикально направлений струмінь рідини, який може відокремлювати одну або декілька крапель. Присутність поверхнево-активних речовин (ПАР) викликає збільшення в'язкості плівки. Це веде до більш рівномірного потоншення куполу і утворення в ньому відразу декількох місць розриву, завдяки чому зімкнення кільцевої хвилі в нижній частині бульбашки передає реактивному струменю набагато меншу кінетичну енергію, і реактивні краплі не утворюються.

Пухирі газів, що виділяються на електродах, зменшують активний перетин електроліту (S) і подовжують шлях струму від одного електрода до іншого. Це явище називається газонаповненням, що може бути визначене як відношення об'єму займаного в цей момент пухирцем повітря до загального об'єму електролітичного осередку.

Інтенсивність газовиділення залежить від властивостей розчину електроліту та умов проведення електролізу, ефективність якого оцінюється рядом факторів, до яких належать: напруга, щільність струму, вихід по струму, вихід по речовині, коефіцієнт корисної дії електроенергії (вихід по енергії), витрата електроенергії на одиницю отриманого продукту.

Метою роботи є виявлення залежності питомого об'єму газу, що виділяється на електродах, від властивостей органічних добавок до електроліту й щільності струму.

Серед параметрів, що характеризують процес газовиділення, були обрані щільність струму (D), А/дм<sup>2</sup>, а також параметри, що відображають вплив властивостей поверхнево-активних речовин - поверхневий натяг, що виникає на границі розчин-повітря при введенні органічної добавки ( $\sigma$ ), кг/с<sup>2</sup>; гранична адсорбція органічної речовини ( $\Gamma$ ), моль/м<sup>2</sup>; постійна адсорбція (K), м<sup>3</sup>/моль. Концентрація органічної речовини впливає на електродні процеси, що може бути виражено через наведені вище параметри – поверхневий натяг й адсорбцію.

Для визначення впливу даних параметрів на питомий об'єм газу, що утворюється на аноді, був запланований експеримент, аналіз результатів якого дозволив визначити вид залежності:

$$Q = f(\sigma_p, \Gamma, K, D). \quad (1)$$

Експеримент проводився з використанням електроліту постійного складу (концентрація фторобрата свинцю 40 г/л; концентрація вільної борфлюористоводневої кислоти 180 г/л; концентрація борної кислоти 30 г/л) та різних органічних речовин.

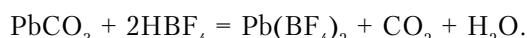
Вплив органічних речовин на технологічну ефективність процесів вивчений досить добре, однак у літературі відсутні дані про вплив органічних речовин на інтенсивність виділення газів з розчинів електролітів. Тому інтенсивність газовиділення оцінювалася в електроліті, в якості домішок до якого використовували органічні речовини – змочувач ДБ, желатин, гліцерин, етиленгліколь.

**Методика дослідження.** Нами було досліджено вплив властивостей електроліту на інтенсивність виділення газу на електродах у процесі переробки ВСКА.

Для досліджень застосовувався електроліт на основі борфлюористоводневої кислоти, що одержаний за реакцією:



Електроліт готувався додаванням у борфлюористоводневу кислоту вуглекислого свинцю, який розчинявся за наступною реакцією:



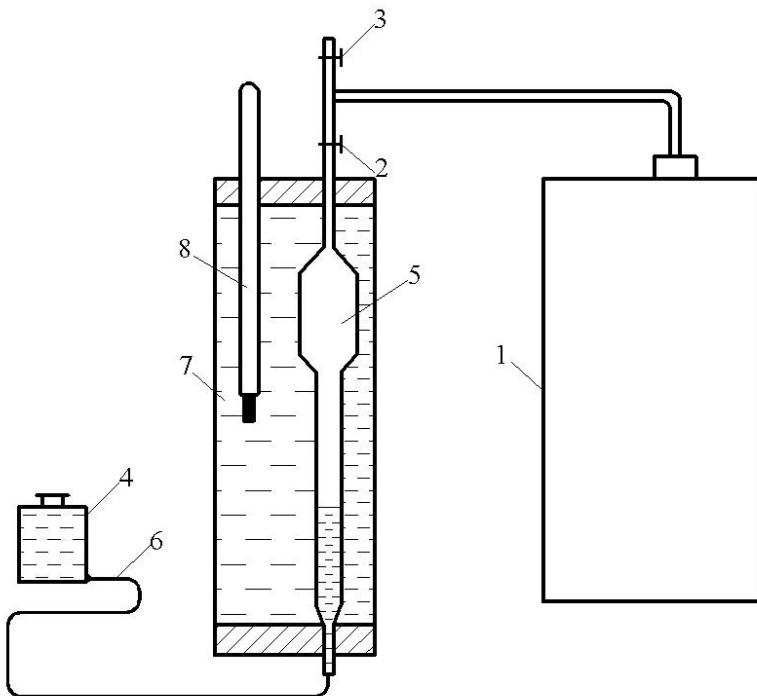
Потім додавались вільна борна кислота і органічна домішка.

Досліди проводили в електролітичній чарунці з оргскла робочим об'ємом 125 мл. Експеримент проводили з використанням свинцевої пластиини як катода й графітової пластиини як анода.

Поверхневий натяг на межі розчин-повітря визначали методом максимального тиску пухирця.

Адсорбційні характеристики органічних речовин визначалися графічно шляхом побудови ізотерм адсорбції.

Схема установки для визначення інтенсивності виділення газу на електродах приведено на рисунку 1. Визначення інтенсивності утворення газу в електролітичній комірці 1, що моделює електролізну ванну, здійснювалося по різниці оцінок у вимірювальній бюретці 5, герметично з'єднаної із чарункою 4 до початку електролізу й через певний час після подачі струму на електроди [2].



**Рисунок 1** – Схема установки для визначення інтенсивності виділення газу.

У результаті збору й аналізу експериментальних даних була отримана наступна залежність, що відображає вплив щільності струму й властивостей органічних речовин у складі електроліту на питомий об'єм кисню, що виділяється на аноді.

$$Q = 0,000165 \cdot \sigma^{2,84} \cdot I^{2,47} \cdot K^{2,72} \cdot D^{2,41} \quad (r = 0,97) \quad (2)$$

**Висновки.** Отримані дані дозволяють оцінити загальну тенденцію виділення кисню на стадії електролізу при переробці ВСКА електрохімічним методом, а також оцінити вплив щільності струму й органічних речовин у складі електроліту на питомий об'єм кисню, який виділяється на аноді. Результати можуть бути використані для подальших досліджень у цій сфері.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Emission Estimation Technique Manual for Electroplating and Anodising // National Pollutant Inventory. – Australia, 1999. – 30 р.
2. Lori E. Cleaner Technologies Substitutes Assessment : Making Holes Conductive / Lori E. Kincaid, Jack R. Geibig. – Tennessee, USA : 1998. – V. 2. – 400 р.
3. Курбанова Ф. М. Утилизация свинца из отработанных свинцовых аккумуляторов электролизом / Курбанова Ф.М. : материалы Федеральной итоговой науч.-техн. конф. творческой молодежи России по естественным, техническим, гуманитарным наукам. – 2004. – С. 231–232.
4. Морачевский А. Г. Применение электрохимических методов в технологии производства вторичного свинца / Морачевский А. Г., Вайсгант З. И., Демидов А. И. // Прикладная химия. – 1993. – № 1. – С. 3–16.
5. Хрюкин Н. С. Вентиляция и отопление аккумуляторных помещений / Хрюкин Н. С. – М. : Энергия, 1979. – С. 29–37.

Отримано 16.09.2010

И. Э. ЧЕРНЫШЕНКО, В. В. НАЗАРОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОЛИТА И УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗА НА ЭЛЕКТРОДАХ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

В статье проанализирована проблема выделения газов на электродах в электролите с примесями органических веществ. В статье также приведены результаты определения влияния физико-химических свойств раствора и плотности тока на интенсивность выделения газа на электродах в электролите на основе борфтористоводородной кислоты на стадии электролиза при переработке отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов.

**переработка отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов, эмиссия, борфтористоводородная кислота, органические вещества, электролиз**

I. E. CHERNYSHENKO, V. V. NAZAROVA

EFFECT OF ELECTROLYTE CHARACTERISTICS AND CONDITIONS OF ELECTROLYSIS PROCESS ON GAS ESCAPE INTENSITY ON ELECTRODES DURING PROCESSING OF EXHAUSTED LEAD-ACID CELLS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper analyses the problem of gas escape on the electrodes in electrolyte with organic impurities. The research results by determination of the physical and chemical characteristics effect on a solution current density to the intensity of gas escape on the electrodes in electrolyte on a basis of fluoroboric acid during exhausted lead-acid cells processing have been also presented.

**exhausted lead-acid cells processing, fluoroboric acid, organic impurities, electrolysis**

**Чернишенко Інна Едуардівна** — студентка Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка відходів, що містять свинець.

**Назарова Валерія Валеріївна** — аспірант, асистент кафедри «Прикладна екологія і хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка відходів, що містять свинець.

**Чернишенко Инна Эдуардовна** — студентка Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка свинцовыхмещающих отходов.

**Назарова Валерия Валериевна** — аспирант, ассистент кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка свинцовыхмещающих отходов.

**Chernishenko Inna Eduardovna** — an undergraduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: processing of lead-containing waste.

**Nazarova Valeriya Valeriievna** — a postgraduate, a teaching fellow of the Applied Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: processing of lead-containing waste.

УДК 331.436:614.8.086.4:658.567.1:621.355.5:628.544

**В. В. НАЗАРОВА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ИНГАЛЯЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ НА РАБОЧИХ  
ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ (НА ПРИМЕРЕ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА УТИЛИЗАЦИИ СВИНЦОВО-  
КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ)**

В статье освещены проблемы утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов электрохимическим методом. Рассматриваются проблемы моделирования процесса эмиссии загрязняющих веществ при электрохимических операциях и связанные с ними проблемы прогнозирования ингаляционного воздействия вредных веществ на рабочих. В работе рассматриваются механизмы выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны на стадии электролиза при электрохимической утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов, приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния органических добавок на интенсивность эмиссии загрязняющих веществ с поверхности электролита. В ходе исследования методом анализа размерностей были определены дополнительные критерии подобия, учитывающие влияние органических веществ на эмиссию фторидов, определен вид критериальной зависимости.

**утилизация отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов, эмиссия загрязняющих веществ, электрохимические процессы, критерии подобия, органические добавки**

Сегодня проблема утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов (СКА) является одной из наиболее приоритетных в сфере обращения с отходами. Непрерывный поиск новых технологических решений проблемы эффективной переработки и утилизации этого многокомпонентного опасного отхода обусловлен причинами различного характера. Сложный состав требует создания сложного технологического цикла, включающего подготовку сырья, его переработку или утилизацию. То обстоятельство, что СКА является опасным отходом, а процессы его утилизации сопряжены с образованием большого количества не менее опасных твердых, жидких и газообразных отходов, требует учета фактора безопасности труда и экологической целесообразности при разработке технологий утилизации СКА, расставляя приоритеты в пользу безопасности всех стадий процесса. Пирометаллургический метод переработки в настоящий момент не рассматривается в качестве перспективного направления в переработке СКА ввиду его высокой экологической опасности. Электрохимический метод является альтернативой пирометаллургическому и может рассматриваться как наиболее экологически чистый способ утилизации СКА. Однако и этот метод не лишен недостатков, которые необходимо устранить для широкого внедрения метода в производственную практику на Украине, где до сих пор применяются пирометаллургические методы утилизации [1].

Схема электрохимической технологии утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов включает предварительную обработку аккумуляторов с получением органической фракции (полипропиленовые, эбонитовые корпуса, полихлорвиниловые сепараторы, резиновые прокладки), электролита и свинецсодержащих пластин. После проведения подготовительных операций, в ходе которых осуществляется перевод плохо растворимых в растворе электролита компонентов активной массы  $PbSO_4$  и  $PbO_2$  в  $Pb(OH)_2$  и  $PbO$ , активную массу электродов СКА помещают в электролит на основе борфтористоводородной кислоты — наиболее распространенный электролит, пригодный для растворения активной массы СКА и извлечения свинца.

Основной производственной вредностью электротермометаллургических переделов при переработке СКА является жидкий аэрозоль растворов электролитов, который выделяется в воздух при

большинстве процессов в электролизных и очистных отделениях и содержит в своем составе преимущественно водорастворимые (сернокислые и борфтористые) соли свинца и других соединений. Для устройства эффективной вентиляции, прогнозирования и предотвращения наступления негативных последствий для здоровья рабочих необходимо знать физические и химические свойства веществ, применяемых в технологических процессах, их превращения, изменения, токсичность, источник и места выделения вредных веществ, состояние и свойства их в момент выделения [2]. Недостаточная изученность закономерностей выделения загрязняющих веществ при электролизе растворов электролитов затрудняет прогнозирование и расчет эмиссии при переработке СКА, а также лишает возможности оптимизации технологического процесса и эффективного поиска путей улучшения условий труда рабочих, занятых на электрохимической переработке СКА.

Целью данной работы было изучение факторов, влияющих на эмиссию фторидов, выделяющихся с поверхности электролита на основе борфтористоводородной кислоты при утилизации СКА для совершенствования методов моделирования и прогнозирования ингаляционного воздействия вредных веществ на рабочих при электрохимических операциях.

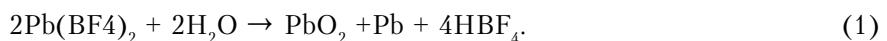
Основными источниками опасности для рабочих при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторов являются пары и аэрозоли, выделяющиеся с поверхности электролита.

Поступление вредных веществ в воздух рабочей зоны при электрохимической переработке СКА может быть вызвано следующими физико-химическими процессами: турбулентным и молекулярным переносом в результате разности парциальных давлений при химических реакциях, барботаже, выделении газов на электродах и др. [3].

В ваннах электрохимического нанесения покрытий существует, по крайней мере, два источника аэрозолей: аэрозоли, которые образуются вследствие капельного уноса, и аэрозоли, которые образуются вследствие разрыва пузырьков газа на поверхности электролита. Данные для исследования эмиссии вредных веществ из ванн при электрохимических операциях варьируют в широком диапазоне значений от исследования к исследованию.

Варьирование данных об эмиссии обусловлено большим количеством потенциально влияющих факторов. К этим факторам относятся: приложенная плотность тока, электрохимический эквивалент, катодный выход по току, покрываемая площадь поверхности, толщина покрытия, время покрытия, вид подложки, ориентация покрываемых элементов в ванне, концентрация электролита, поверхностное натяжение и т. д.

На стадии электролиза при электрохимической утилизации СКА при пропускании электрического тока через электролит на основе борфтористоводородной кислоты реализуются процессы, которые можно описать суммарной реакцией:



Электроизвлечение свинца из водных растворов солей, таких как фторбораты, всегда сопровождается одновременным осаждением  $\text{PbO}_2$  на аноде. Это отрицательно сказывается на процессе растворения активной массы в случае, когда электроды СКА выступают в качестве анодов, что препятствует переходу свинца в электролит. Осаждение  $\text{PbO}_2$  также нежелательно, в случае, когда в процессе применяются нерастворимые аноды, в частности, наиболее распространенные — графитовые, поскольку препятствует эффективному извлечению свинца из электролита. На каждый моль осажденного свинца образуется один моль  $\text{PbO}_2$ . Воспрепятствовать нежелательному соосаждению диоксида свинца может введение в электролит поверхностно-активных веществ (ПАВ), ингибирующее действие которых в отношении анодного образования  $\text{PbO}_2$  может быть объяснено селективной адсорбцией ПАВ на поверхности электрода. Адсорбция ПАВ на электродной поверхности приводит к изменению анодного потенциала на более положительное значение, приводя к выделению кислорода [4]. Поскольку перенапряжение водорода на свинце велико, выделения водорода на свинцовом катоде не происходит.

Таким образом, необходимость ингибирования процесса образования  $\text{PbO}_2$  неизменно приводит к выделению кислорода на нерастворимых электродах при электроизвлечении свинца, который вносит свой вклад в эмиссию загрязняющих веществ.

Украинскими нормами предусмотрена оценка эмиссии загрязняющих веществ при электрохимических операциях по величине удельных показателей. Удельные показатели эмиссии при переработке СКА электрохимическим методом в связи с отсутствием на Украине этой технологии не разработаны. Применение расчетного метода затруднено, поскольку не определены зависимости выбросов

загрязняющих веществ при электрохимических операциях от состава рабочего раствора и технологических параметров ведения процесса. Определение зависимостей и разработка расчетных методов определения эмиссии позволили бы определить характер и количество выделяющегося в атмосферный воздух вредного вещества как от отдельного аппарата, так и от нескольких в любой заданный период времени, прогнозировать эмиссию при изменении технологического процесса, например, при изменении состава раствора электролита или условий ведения процесса электролиза. Исследования, положенные в основу методики расчета загрязняющих веществ, позволят не только прогнозировать, но и оптимизировать технологический процесс с целью повышения его безопасности и эффективности.

В настоящее время в мире детально исследованы процессы нанесения твердого хромового и декоративного хромового покрытия — источники поступления в воздух рабочей зоны и окружающую среду канцерогенных соединений хрома, предложена зависимость коэффициента неконтролируемой и контролируемой эмиссии от основных параметров хромирования — электрохимического эквивалента металла, выхода по току, концентрации металла в электролите, плотности тока. Эмиссия от электрохимических операций, отличных от операций хромирования, может быть оценена с помощью коэффициентов эмиссии и технологических условий для нанесения хромовых покрытий. В работах [3, 5] представлены уравнения, которые позволяют оценить эмиссию вследствие образования газа в результате приложения тока. Эти уравнения не учитывают дополнительную эмиссию, которая является результатом барботажа воздухом или механического перемешивания раствора электролита в ванне. Для оценки неконтролируемой эмиссии в результате перемешивания воздухом рекомендуется использовать зависимость фактора эмиссии от среднего радиуса пузырька, поверхностного натяжения раствора, плотности жидкости и плотности газа.

Одним из отличий многих электрохимических процессов нанесения покрытий или рафинирования металла от процессов хромирования является применение в составе электролитов различных органических веществ, которые могут существенно влиять на эмиссию поллютантов из электролитических ванн. Поверхностное натяжение не может в полной мере характеризовать влияние ПАВ в растворе на эмиссию загрязняющих веществ. Это не позволяет в полной мере распространять зависимости, выведенные для процессов хромирования, в которых не используются органические добавки, в частности ПАВ, на другие электрохимические процессы, в которых ПАВ используются. Многочисленные исследования свойств водных растворов в присутствии добавок органических веществ в различных областях науки и техники — технологиях очистки сточных вод (флотаторы, аэротенки), химической технологии (эрлифты, барботажные колонны), отмечают существенное влияние органических веществ, особенно ПАВ, как на свойства растворов, так и на технологические условия процессов. В частности, интенсивность эмиссии при электрохимических процессах будет меняться как вследствие изменения свойств раствора электролита, так и вследствие изменений электродных реакций — адсорбции органических веществ на электродах, смещения электродных потенциалов и, как следствие, изменения режима газовыделения, газонаполнения электролита и фактора эмиссии.

Для выявления влияния ПАВ на процесс выделения вредных веществ при утилизации СКА на стадии электролиза были проведены теоретические и экспериментальные исследования зависимости эмиссии загрязняющих веществ на примере фторидов от свойств раствора электролита.

Для определения критерии подобия, описывающих влияние органических веществ, был использован метод анализа размерностей. Экспериментальная часть исследования была реализована на модели электрохимической ванны — в электролитической ячейке из оргстекла с использованием свинцовой пластины в качестве катода и графита в качестве анода [6].

Эксперимент проводился с использованием электролита состава: концентрация фторбората свинца 40 г/л; концентрация свободной борфтористоводородной кислоты 180 г/л; концентрация борной кислоты 30 г/л. Для определения влияния добавок органических веществ на интенсивность эмиссии фторидов использовались: смачиватель ДБ, желатина, глицерин, этиленгликоль. Поверхностное натяжение на границе раствор-воздух определялось методом максимального давления пузырька. Адсорбционные характеристики органических веществ определялись графически путем построения изотерм адсорбции [7]. Для отбора и подготовки проб воздуха, а также для их анализа использовали общепринятые методики [8].

В ходе теоретического и практического исследования было выявлено доминирующее влияние органических веществ на процессы эмиссии. Поэтому было решено проанализировать критериальные зависимости, описывающие массообменные процессы в гетерогенных средах, вывести

дополнительные критерии подобия массоотдачи из раствора электролита, учитывающие влияние органических веществ, а также определить вид зависимости числа Нуссельта от определяющих критериев.

Выбор дополнительных критериев подобия выполнялся на основании следующих рассуждений.

Эмиссия, как и любой другой процесс массоотдачи, описывается дифференциальными уравнениями массоотдачи, диффузии, уравнением переноса количества движения и при установившемся процессе при отсутствии влияния сил тяжести критериальное уравнение массоотдачи будет иметь следующий вид [9]:

$$Nu' = f(Re, Pr', \Gamma_1, \Gamma_2 \dots). \quad (2)$$

Зависимость (2) можно записать в виде:

$$Nu' = A Re^n (Pr')^m \Gamma_1^q \Gamma_2^p, \quad (3)$$

где  $Nu'$  — критерий Нуссельта, характеризующий обмен вещества на границе фаз;

$Re$  — критерий Рейнольдса, устанавливающий соотношения между вязкими и инерциальными силами;

$Pr'$  — критерий Прандтля характеризует физические свойства среды;

$\Gamma_1, \Gamma_2$  — симплексы геометрического подобия;

$A, n, m, q, p$  определяют опытным путем.

Однако двухфазная система раствор-газ, в которой образующиеся на электродах пузырьки также вносят вклад в эмиссию загрязняющих веществ из раствора электролита, требует учета таких параметров, как размер, количество и скорость всплытия пузырьков, на которые в значительной степени влияют концентрация и индивидуальные свойства вводимых в раствор органических веществ. Анализ литературных данных также подтверждает такую необходимость [10]. Для определения критериев подобия, которыми необходимо дополнить критериальное уравнение, описывающее массоперенос из электрохимической ванны, был изучен механизм влияния органических веществ на гидродинамические и массообменные характеристики двухфазного потока раствора-газ.

Согласно теории неподвижной пленки в процессе движения пузырька в растворе, содержащем ПАВ, поверхностное натяжение и адсорбция влияют на свойства системы пузырек-раствор, и через гидродинамическую составляющую процесса — на массообмен раствор — воздух, т. е. эмиссию веществ из раствора, поэтому при поиске необходимых критериев подобия в качестве влияющих параметров были выбраны плотность ( $\rho$ ) и вязкость ( $\mu$ ) жидкости, диаметр ( $d_{\text{пуз}}$ ) и скорость всплытия ( $U_{\text{пуз}}$ ) пузырька газа, выделяющегося на электроде, а также параметры, которые характеризуют органические вещества: поверхностное натяжение, ( $\sigma$ ), кг/с<sup>2</sup>; предельная адсорбция вещества ( $\Gamma$ ), моль/м<sup>2</sup>; постоянная адсорбция ( $K$ ), м<sup>3</sup>/моль и концентрация органического вещества ( $C_{\text{пав}}$ ), моль/м<sup>3</sup>, определенные в ходе предварительных теоретических и экспериментальных исследований [11].

В ходе проведения и анализа экспериментальных данных были приняты следующие допущения: число Рейнольдса по длине резервуара оставалось неизменным, а потому в ходе эксперимента входящие в него параметры не варьировались; плотность и вязкость жидкости считались неизменными ввиду введения малых количеств органических веществ, а потому число Прандтля (Шмидта) также считалось неизменным; геометрические симплексы не вводились, поскольку эксперимент проводился в одной электролитической ячейке.

В результате обработки данных методом Брандона был определен вид зависимости числа Шервуда от известных чисел Рейнольдса ( $Re$ ), Вебера ( $We$ ), капиллярного числа ( $Ca$ ) и нового числа  $N$ , характеризующего влияние органических веществ, представленные формулой (4):

$$\frac{ka}{D_{AB}} = 0,096 \cdot \left( \frac{\rho U_{\text{пуз}}^2 d_{\text{пуз}}}{\sigma} \right)^{-0,484} \cdot \left( \frac{U_{\text{пуз}} \mu}{\sigma} \right)^{0,785} \cdot \left( \frac{\rho U_{\text{пуз}} d_{\text{пуз}}}{\mu} \right)^{1,117} \cdot \left( \frac{K \Gamma^2}{C_{\text{пав}}} \right)^{0,053}. \quad (4)$$

В результате исследования было выявлено значительное влияние органических добавок к электролиту на процессы эмиссии загрязняющих веществ. Дополнительные критерии подобия, а также выведенная критериальная зависимость позволяют учесть влияние органических веществ на эмиссию фторидов при моделировании электрохимических процессов, протекающих при утилизации СКА, а также оценке ингаляционного воздействия вредных веществ на рабочих. Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований закономерностей выделения вредных веществ при электрохимических операциях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаева Н. В. Перспективы снижения загрязнения окружающей среды при переработке отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов / Н. В. Исаева, Д. О. Дементьев // Охорона навколошнього середовища та раціональне використання природних ресурсів : матеріали ІІ міжнар. наук. конф. аспірантів та студентів. — Маркіївка : ДонНАБА, 2003. — Т. 2. — С. 75—76.
2. Еремина Т. В. Гигиена труда в основных отраслях промышленности: [метод. пособ.] / Т. В. Еремина, И. Г. Тимофеева, Н. И. Гусева. — Улан-Удэ : изд-во ВСГТУ, 2004. — 37 с.
3. Emission Factor Documentation for AP-42 Section 12.20. Electroplating (Final Report). MRI Project No. 4603-01 / U. S. Environmental Protection Agency. — 1996. — 250 p.
4. Ramachandran P. Inhibition of  $PbO_2$  formation during lead electrowinning / P. Ramachandran, K. V. Venkateswaran, R. Srinivasan // Journal of applied electrochemistry. — 1985. — № 15. — P. 937—945.
5. Emission Estimation Technique Manual for Electroplating and Anodising / National Pollutant Inventory. — Australia, 1999. — 30 p.
6. Котик Ф. И. Ускоренный контроль электролитов, растворов и расплавов / Ф. И. Котик. — М. : Машиностроение, 1978. — С. 115—122.
7. Горбачук В. А. Практическое руководство к лабораторным работам по коллоидной химии / В. А. Горбачук, В. А. Загуменнов. — Казань : изд-во КГУ, 2001. — 83 с.
8. Методы определения вредных веществ в воде водоемов / под ред. А. П. Шицковой. — М. : Медицина, 1981. — 376 с.
9. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии : [учебн. для вузов. В 2 ч.]. — Ч. 2. Массообменные процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. — М. : Химия, 1995. — 368 с.
10. Savas Tasoglu. The effect of soluble surfactant on the transient motion of a buoyancy-driven bubble / S. Tasoglu, U. Demirci, M. Muradoglu // Physics of fluids. — 2008. — № 20. — P. 1—15.
11. Zambon R. C. Modelo matemático de remoção de compostos orgânicos voláteis em unidades de arraste com ar difuso R.C. Zambon dione mari morita podalyro amaral de souza / Zambon R. C., Morita D. M., De Souza P. A. // Engenharia sanitária e ambiental. — 2003. — Vol. 8, № 1. — P. 59—68.

Получено 08.09.2010

В. В. НАЗАРОВА

ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ІНГАЛЯЦІЙНОГО ВПЛИВУ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН НА ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ (НА ПРИКЛАДІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО МЕТОДУ УТИЛІЗАЦІЇ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ)

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті висвітлено проблеми утилізації свинцово-кислотних акумуляторів електрохімічним методом. Розглядаються проблеми моделювання процесу емісії забруднюючих речовин при електрохімічних операціях та пов'язані з ними проблеми прогнозування інгаляційного впливу шкідливих речовин на працівників. У роботі розглядаються механізми виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони на стадії електролізу при електрохімічній утилізації свинцово-кислотних акумуляторів, наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень впливу органічних добавок на інтенсивність емісії забруднюючих речовин з поверхні електроліту. У ході дослідження методом аналізу розмірності було визначено додаткові критерії подібності, що враховують вплив органічних речовин на емісію фторидів, визначено вид критеріальної залежності.

**утилізація відпрацьованих свинцово-кислотних акумуляторів, емісія забруднюючих речовин, електрохімічні процеси, критерії подібності, органічні домішки**

V. V. NAZAROVA

PROBLEMS OF MODELING AND FORECASTING OF INHALATION EXPOSURES TO WORKERS IN ELECTROCHEMICAL OPERATIONS (IN TERMS OF AN EXAMPLE OF ELECTROCHEMICAL METHOD OF LEAD-ACID CELL PROCESSING)

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The deals with the problem of lead-acid cells processing by the electrochemical method. The problems of modeling the emission of pollutants in electrochemical operations and related problems of inhalation exposures prediction to workers have been considered. The paper also deals with the mechanisms of harmful substances escape to the air of working zone at the stage of electrolysis in the electrochemical lead-acid cells processing.

the results of theoretical and experimental studies of the effect of organic additives on the pollutants emission intensity from the electrolyte surface. During the investigation by the dimension analysis, the additional similarity criteria taking into account the organic matter effect on the emissions of fluorides have been determined. The criteria dependence type has been specified at the study.

**exhausted lead-acid cells processing, pollutants emission, electrochemical processes, similarity criteria, organic additives**

**Назарова Валерія Валеріївна** — асистент кафедри «Прикладна екологія і хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури.

**Назарова Валерия Валериевна** — ассистент кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка промышленных отходов.

**Nazarova Valeriya Valerivna** — a teaching fellow of the Applied Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: processing of industrial waste.

УДК 624.95: 624.014.2

**В. Ф. МУЩАНОВ, А. Н. БАЧУРИН, А. А. КРЫСЬКО**  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ УСИЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА

В данной статье рассматривается техническое решение (Патент Украины № 27947 Резервуар), которое, в отдельных, экономически оправданных случаях, позволяет повысить несущую способность и эксплуатационную надежность стального резервуара малого объема (до 100 м<sup>3</sup>) для хранения нефти и нефтепродуктов, в том числе защищает резервуар от пожара.

Конструктивная схема предложенного стального резервуара включает вертикальную цилиндрическую стенку с прикрепленным к ней профнастилом, днище, крышу и отличается от известных конструктивных решений тем, что на вертикальные стойки, расположенные между стенкой и профнастилом, крепится гирлянда пластиковых бутылок, плотно прижатых к стенке резервуара. Гирлянда снабжена крестообразным креплением с пробками для крепления пластиковых бутылок, заполненных тонкодисперсным порошком из карбонатных пород (например, доломита, мела).

Такая конструктивная схема позволяет повысить несущую способность конструкций стенки резервуара, а наполнение бутылок позволяет минимизировать последствия возгорания резервуара. Также использование бывших в употреблении пластиковых бутылок позволяет говорить об экологической составляющей полезной модели.

**стальной вертикальный цилиндрический резервуар, несущая способность, защита от пожара, пластиковая бутылка, тонкодисперсный материал карбонатных пород**

**Формулировка проблемы.** Резервуары вертикальные стальные цилиндрические предназначены для приема, хранения, выдачи нефтепродуктов и воды, а также других жидкостей, в различных климатических условиях. Стальные резервуары малых объемов (до 100 м<sup>3</sup>) для хранения жидких материалов несут накопительную функцию в системе, в которой используются. В частности, большинство аэропортов имеют собственное нефтехранилище, где хранится авиационное топливо. Резервуары также используются как накопительные для систем пожаротушения и аварийного водоснабжения объемом от 25 до 2 600 м<sup>3</sup>.

При транспортировке, монтаже и эксплуатации резервуары принимают форму, отличающуюся от идеального цилиндра. Многочисленные наблюдения за изготовлением резервуаров показывают, что даже при предварительной правке металла на вальцах листы имеют отклонения из плоскости, превышающие ±20 мм [2]. Исследования, проведенные Н. М. Писанко [2], показывают, что искажения формы резервуаров часто носят местный характер. Основными видами местных искажений геометрической формы резервуара являются вмятины и хлопуны. Под вмятиной следует понимать вогнутый (вдавленный) под действием внешних сил участок оболочки резервуара. Хлопуном называется такое искажение оболочки резервуара, которое при действии определенной нагрузки приводит к потере устойчивости и переходу оболочки в другое устойчивое положение, не совпадающее с цилиндрической поверхностью резервуара. При этом потеря устойчивости сопровождается звуковым явлением выщелкивания или хлопка. Неоднократное изменение положения хлопунов приводит к образованию трещин в стенке резервуара.

Также одной из немаловажных проблем при реконструкции резервуаров является обеспечение пожарной безопасности таких объектов [3–6]. Пожары на нефтехранилищах имеют катастрофические последствия как для соседних объектов, так и для окружающей среды.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В правилах технической эксплуатации резервуаров и инструкции по их ремонту [7] рассмотрены методы и виды ремонта стенок резервуаров, а также оснований, фундаментов и кровли. Приведены указания по удалению дефектных мест, устраниению дефектов с применением и без применения сварочных работ, бандажированию резервуаров.

В работе [8] в качестве конструкций усиления также рассматривается известное, разработанное с непосредственным участием автора диссертации, решение с применением гибких сборно-разборных кольцевых бандажей.

Немало работ и нормативных источников посвящено теме восстановления несущей способности эксплуатируемых резервуаров [9–13], а также обеспечения пожарной безопасности таких объектов.

**Цель работы:** повышение пожарной безопасности и несущей способности реконструируемых стальных резервуаров малого объема (до 100 м<sup>3</sup>) для хранения нефти и нефтепродуктов.

Нарушения несущей способности, прочности и герметичности в резервуарах в большинстве случаев вызываются совокупностью различных неблагоприятных воздействий на конструкции, но в совокупности эти проблемы рассматриваются в не достаточной степени.

Стандартные конструкции резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, включают в себя днище, цилиндрический корпус и крышу [14]. Утеплителем резервуара служат маты из минеральной ваты, прижатые к стенке профилированным настилом. Недостатком такого резервуара является высокая горючесть, не достаточная упругость, недолговечность минераловатных материалов, которые с течением времени разрушаются и требуют замены и при контакте с водой вызывают ускоренную коррозию стенки резервуара.

Одним из возможных путей снижения риска аварий или минимизации их последствий является применение конструктивной схемы, предложенной и запатентованной авторами этой статьи [1].

**Основной материал.** Рассмотрим детально предлагаемый вариант реконструкции стального резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов.

Для устранения отмеченных недостатков на стенку резервуара установлены вертикальные стойки, на которые закреплены пластиковые бутылки, наполненные порошкообразным материалом, соединенные крестообразным креплением и плотно прижатые к стенке резервуара профилированным настилом. Пластиковые бутылки, плотно прилегая к стенке резервуара, предотвращают хлопуны, образовавшиеся в процессе монтажа и эксплуатации резервуара от выщелкивания и, следовательно, от потери несущей способности стенки резервуара. При этом пластиковые бутылки наполнены тонкодисперсным порошкообразным материалом из карбонатных пород, который при воздействии высокой температуры выделяет углекислый газ, препятствующий горению.

Суть технического решения показана на рисунках 1–3.

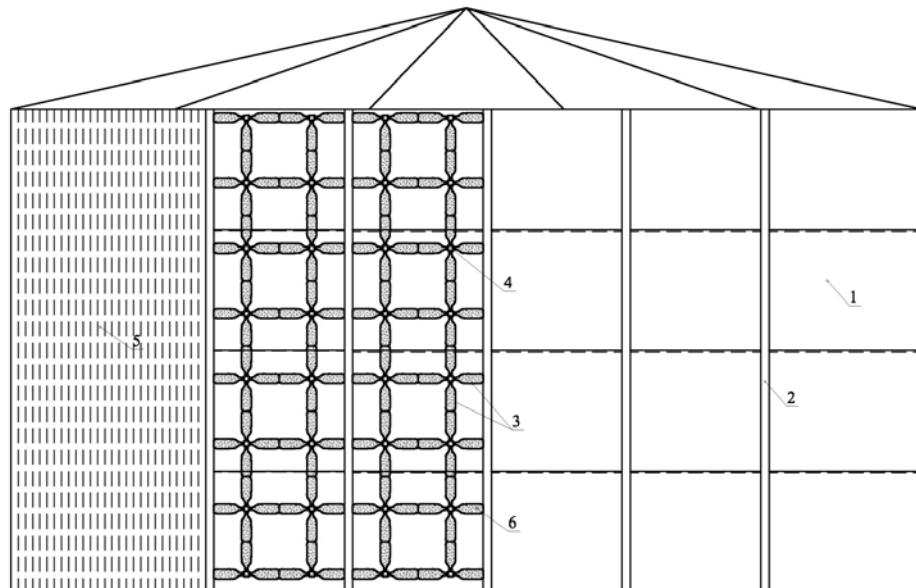
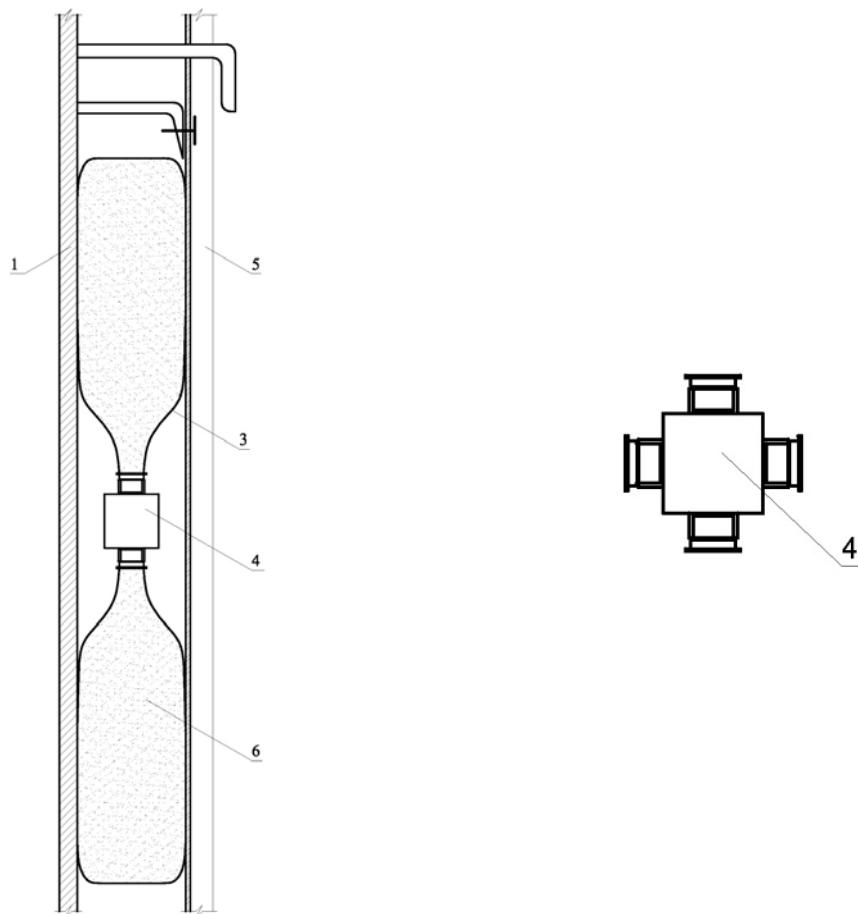


Рисунок 1 – Общий вид резервуара.



**Рисунок 2 – Разрез стенки резервуара:** 1 – стена резервуара; 2 – вертикальные стойки; 3 – пластиковые бутылки; 4 – крестообразное крепление; 5 – профилированный настил, 6 – наполнение пластиковых бутылок тонкодисперсным порошком из карбонатных пород.

Данное изобретение целесообразно применять при ремонте и реконструкции резервуара, когда существующий минераловатный утеплитель утратил свои эксплуатационные качества, или при новом строительстве. Процесс монтажа предложенной конструкции производится следующим образом. На стенку 1 смонтированного резервуара устанавливаются вертикальные стойки 2. На стенку резервуара 1 и вертикальные стойки 2 крепятся пластиковые бутылки 3, соединенные крестообразными креплениями 4. Затем пластиковые бутылки 3 прижимаются к стенке резервуара 1 профилированным настилом 5. Перед монтажом пластиковые бутылки 3 наполняются тонкодисперсным порошком 6 из карбонатных пород, например, доломита, мела и т. п.

В данной конструкции вертикальные стойки 2 служат для устранения или уменьшения значения погиби, т. е. отклонения образующих цилиндрической стенки от вертикали. Пластиковые бутылки 3, соединенные между собой крестообразным креплением 4 и kleem, прикрепленные к вертикальным стойкам 2 и плотно прижатые к стенке резервуара 1 профилированным настилом 5, предотвращают вмятины, образовавшиеся в процессе монтажа и эксплуатации резервуара от выщелкивания и, следовательно, от разрушения стенки резервуара 1. Воздушная прослойка между профилированным настилом 5 и стенкой резервуара 1 повышает теплоизоляционные свойства предложенной конструкции.

#### Повышение пожарной безопасности.

Пластиковые бутылки 3 наполнены тонкодисперсным порошком 6 из карбонатных пород. Это позволяет при возникновении пожара погасить огонь, не прибегая к услугам пожарных. При

увеличении температуры выше 258 °С, пластиковые бутылки З плавятся, и тонкодисперсный порошок 6 высыпается. Так как порошок, наполняющий пластиковые бутылки, состоит из карбонатных пород (доломита, мела), при повышении температуры происходит следующая реакция



Выделяемый  $\text{CO}_2$  препятствует горению.

После пожара будет необходимость заменить расплавленные бутылки на новые. Ни конструкции, ни содержимое резервуара при пожаре не пострадает.

#### Повышение несущей способности.

Значение кольцевых напряжений в цилиндрической оболочке стенки резервуара рассчитывается по формуле Лапласа:

$$\sigma = \frac{pr}{t}; \quad (2)$$

где  $p$  — давление, оказываемое на стенку резервуара ( $\text{kH/m}^2$ );

$r$  — радиус резервуара;

$t$  — толщина стенки пояса.

По закону Гука усилия, возникающие в стенке резервуара,

$$N = \sigma \cdot A_n. \quad (3)$$

Для полоски единичной ширины

$$N = \frac{pr}{t} \text{ (kH/m) или } N = pr \text{ (kH).} \quad (4)$$

Изменение длины кольца под действием нагрузки:

$$\Delta l_k = \frac{N \cdot 2\pi r}{EA_n}. \quad (5)$$

Составляем уравнение

$$2\pi r + \frac{N \cdot 2\pi r}{EA_n} = 2\pi r_i, \quad (6)$$

$$r_i = \frac{2\pi r + \frac{N \cdot 2\pi r}{EA_n}}{2\pi} = r \cdot \left(1 + \frac{N}{EA_n}\right), \quad (7)$$

отсюда  $\Delta r = r \cdot \left(1 + \frac{N}{EA_n}\right) - r = r \cdot \left(1 + \frac{N}{EA_n} - 1\right) = \frac{r \cdot N}{EA_n} = \frac{r \cdot \sigma \cdot A_n}{EA_n} = \frac{r \cdot \sigma}{E} \Rightarrow$

увеличение радиуса при свободной деформации стенки равно:

$$\Delta r = r \cdot \frac{pr}{Et} = \frac{pr^2}{Et}. \quad (8)$$

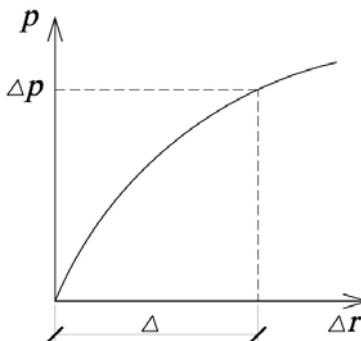
Имея физическую зависимость увеличения радиуса  $\Delta r$  от нагрузки  $p$  (давление, оказываемое на стенку резервуара), можно построить график воздействия на систему полиэтиленовых бутылок, плотно прижатых к стенке резервуара профилированным настилом (рис. 4).

При  $\Delta = \Delta r$  можно получить уточненное значение повышения несущей способности стенки оболочки резервуара, усиленной по схеме рис. 1.

#### Выводы.

1) Данное конструктивное решение позволяет повысить несущую способность конструкций стенки резервуара и его эксплуатационную надежность.

2) Наполнение бутылок тонкодисперсным материалом карбонатных пород позволяет минимизировать последствия возгорания резервуара с одновременным решением вопроса утилизации полиэтиленовых бутылок, бывших в употреблении, и уменьшении воздействия их вредного влияния на окружающую среду.



**Рисунок 4** — Графік дії на систему поліетиленових бутылок:  $p$  — тиск, що діє на стінку резервуара;  $\Delta r$  — збільшення радіуса при свободній деформації стінки;  $\Delta p$  — тиск, який можна компенсувати упругістю системи ПЭТ бутылок, плотно прижатих до стінки резервуара профільованим настилом;  $\Delta$  — величина деформації бутылок ПЭТ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мущанов В. Ф., Бачурин А. Н., Крисько А. А. Патент України 27947 Резервуар. Бюл. № 19. — 2007.
2. Н. М. Писанко. Комплексне рішення питання про допуски при виготовленні зварних вертикальних циліндрических резервуарів / Н. М. Писанко // Стальні конструкції. — 1962. — № 18. — С. 57–82.
3. Large atmospheric storage tank fires (LASTFIRE). London, A Joint Oil Industry Project to review the fire related risks of large, open-top floating roof storage tanks. — 1997.
4. Persson H. Tank fires. Review of fires incidents 1951–2003. / Persson H., Lonnermark A. / SP Swedish National testing and Research Institute. Brandforsk project 513–021, 2003.
5. Тушение нефти и нефтепродуктов / [Безродный И. Ф., Гилетич А. Н., Меркулов В. А. и др.] — М. : ВНИИПО, 1996. — 216 с.
6. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / [Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А.] — М. : Калан, 2002. — 448 с. — ISBN 5–901520–10–6.
7. Правила технічної експлуатації резервуарів інструкції по їх ремонту. Госкомнефтепродукт ССР, утваждено 26.12.1986 г.
8. Егоров Е.А. Комплексний аналіз, оцінка та управління надійністю сталевих резервуарів для хранення нефтепродуктів : Дис... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Придніпровська гос. академія будівельства та архітектури. — Д., 2004. — 337 л. — Бібліогр.: л. 320–337.
9. Рекомендаціях по восстановленню несучої спосібності циліндрических резервуарів способом усилення стінки сталевими кільцевими бандажами. — Астрахань : ЦНІЛ, 1984.
10. Рекомендаціях по експлуатації резервуарів, усилених методом постановки кільцевих бандажей. — Астрахань : ЦНІЛ, 1984.
11. М. Р. Бельський. Усилені сталеві конструкції / М. Р. Бельський, А. Н. Лебедев. — К. : Будівельник, 1981. — 117 с.
12. О. І. Голобля Відновлення несучої здатності сталевих вертикальних резервуарів, що містять дефекти та пошкодження / О. І. Голобля, О. Б. Пластовець, З. А. Юрас // Металеві конструкції. — 2003. — № 1. — С. 49–54.
13. Зюлко Є. Дефекти сталевих циліндрических резервуарів, причини їх виникнення, методи обмеження / Єжи Зюлко // Металеві конструкції. — 2000. — № 1. — С. 55–60.
14. Стальні конструкції: СНиП II-23-81\*. — М. : ЦІТП Госстроя ССР, 1986. — 56 с.

Получено 10.09.2010

В. П. МУЩАНОВ, А. М. БАЧУРІН, О. А. КРИСЬКО  
НОВЕ КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ ПОСИЛЕННЯ РЕЗЕРВУАРА  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

В даній статті розглядається технічне рішення (Патент України № 27947 Резервуар), яке, в окремих, економічно виправданих випадках, дозволяє підвищити носійну здатність і експлуатаційну надійність сталевого резервуара малого об'єму (до 100 м<sup>3</sup>) для зберігання нафти і нафтопродуктів, у тому числі захищає резервуар від пожежі.

Конструктивна схема запропонованого сталевого резервуара включає вертикальну циліндрову стінку з прикріпленим до неї профільованим настилом, днище, дах і відрізняється від відомих конструктивних рішень тим, що на вертикальні стійки, розташовані між стінкою і профільованим настилом,

кріпиться гірлянда пластикових пляшок, щільно притиснутих до стінки резервуара. Гірлянда забезпечена хрестоподібним кріплінням з пробками для кріплення пластикових пляшок, заповнених тонкодисперсним порошком з карбонатних порід (наприклад, доломіту, крейди).

Така конструктивна схема дозволяє підвищити носійну здатність конструкцій стінки резервуара, а наповнення пляшок дозволяє мінімізувати наслідки спалаху резервуара. Також використання вживаних пластикових пляшок дозволяє говорити про екологічну складову корисної моделі.

**сталевий вертикальний циліндричний резервуар, носійна здатність, захист від пожежі, пластикова пляшка, тонкодисперсний матеріал карбонатних порід.**

V. P. MUSHCHANOV, O. M. BACHURIN, O. A. KRYSKO  
LATEST APPROACH OF TANK STRENGTHENING  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper presents the approach (the Patent of Ukraine No. 27947 Tank) offering in some paid off instances to increase a bearing capacity and operational reliability of a small volume steel tank (up to 100 m<sup>3</sup>) for storage of oil and oil derivatives including the tank protection from the fire.

The structural schematic drawing of the proposed steel tank consists of a vertical cylindrical wall with the profiled covering attached to it, a bottom, a roof and differs from similar designs by a garland of tightly pressed against a wall tank plastic containers attached to the vertical costs situated between a wall and a profiled covering. The garland of plastic containers is supplied with crosslike fastening with stoppers for fastening of the plastic containers filled with finely dispersed powder from carbonate rocks (e.g. dolomite, chalk).

Such kind of the structural schematic drawing enables to increase a bearing capacity of a tank wall structure and minimize tank ignition consequences by filling up the containers. The used plastic containers application supports the ecological component of the valid model.

**steel vertical cylindrical tank, bearing capacity, fire protection, plastic container, finely dispersed material of carbonate rocks**

**Мущанов Володимир Пилипович** — завідувач кафедри «Теоретична і прикладна механіка», проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та Міжнародної асоціації «Просторові конструкції», академік Української академії наук, Академії будівництва України, член-кореспондент Академії архітектури України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

**Бачурін Олексій Микитович** — к.т.н., доцент кафедри «Технології будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг», начальник відділу інтелектуальної власності Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: пропагування і розвиток інтелектуальної власності у будівництві.

**Крисько Олександра Анатоліївна** — магістр технічних наук, асистент кафедри «Містобудування та інженерна графіка» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка оптимальних методів посилення конструкцій вертикальних циліндричних резервуарів для зберігання нафти й нафтопродуктів.

**Мущанов Владислав Филиппович** — заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Международной организации «Институт гражданских инженеров» и Международной организации «Пространственные конструкции», Академик Украинской академии наук, Академии строительства Украины, член-корреспондент Академии архитектуры Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

**Бачурин Алексей Никитович** — к.т.н., доцент кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог», начальник отдела интеллектуальной собственности Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: пропаганда и развитие интеллектуальной собственности в строительстве.

**Крисько Александра Анатольевна** — магистр технических наук, асистент кафедры «Градостроительство и инженерная графика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка оптимальных методов усиления конструкций вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

**Mushchanov Volodymir Pilippovych** — the Chair of the Theoretical and Applied Mechanics Department, the Vice-Chancellor in Science of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A Fellow of the International Association «Institution of Civil Engineers» and the International Organization «Spatial Structures», an Academician of the Academy of Sciences of Ukraine, the Academy of Civil Engineering of Ukraine, a Corresponding Member of the Academy of Architecture of Ukraine. Research interests: theory of reliability, analysis, design work and engineering diagnostics of spatial steel structures.

**Bachurin Aleksey Nikitovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Building Materials Procedures and Techniques, Products, and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Head of the Intellectual Property Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: propaganda and evolution of intellectual property in civil engineering.

**Krysko Aleksandra Anatolyevna** — an M. Ph. (Engineering), a teaching fellow of the Urban Development and Engineering Graphics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: design of the optimum procedures of structural strengthening of vertical cylindrical tanks for storage of oil and oil derivatives.

УДК 628.16

**В. О. ОРЛОВ, Н. Л. МІНАЕВА**

Національний університет водного господарства та природокористування

## **ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД В БАШТАХ-КОЛОНАХ В СІЛЬСЬКИХ НАСЕЛЕНІХ ПУНКТАХ**

На підставі аналізу сучасного стану забезпечення сільських населених пунктів якісною питною водою та вирішення проблеми суміщення існуючих споруд на водопровідній мережі та очисних фільтрів запропонована конструкція башти-колони з пристроєм для знезалізnenня води, що дозволяє проводити реконструкцію металевих водонапірних башт та є відносно дешевою, легкою в проектуванні та експлуатації. В якості фільтувального матеріалу використано комбіновану пінополістирольну засипку. Наведено результати експериментальних досліджень на працюючій баштовій установці, що підтвердили ефективність роботи запропонованої конструкції.

**знезалізnenня, пінополістирольна засипка, баштова установка, перервний фільтроцикл**

**На даний час** особлива увага приділяється розширенню використання підземних вод для господарсько-питних та побутових цілей. Це говорить про те, що реконструкцію та технічне переоснащення водоочисних станцій необхідно проводити на основі нових сучасних технологій підготовки питної води. У 2006–2010 роках передбачалося проведення таких робіт у регіонах з найбільшими відхиленнями в якості питної води від встановлених вимог (Дніпропетровська, Донецька, Київська, Луганська, Миколаївська, Одеська та Черкаська області). Підземні води не завжди відповідають вимогам питної води, насамперед внаслідок підвищеного вмісту в них заліза та марганцю, розчинених газів тощо. Концентрація заліза у підземних водах, що споживається для різних потреб в Україні, коливається в залежності від регіону та може досягати значення більше 30 мг/л. Проте найбільш розповсюджені води з концентрацією заліза до 5 мг/л. В такому випадку для водопідготовки можна застосовувати метод спрощеної аерації з наступним фільтруванням через плаваючу засипку [1, 2].

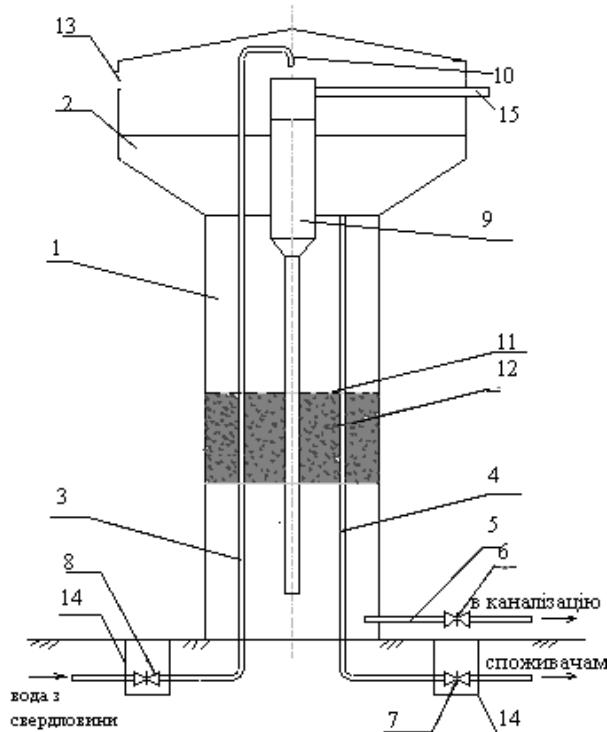
**Значна частина** сільських населених пунктів та невеликих промислових підприємств мають централізовані системи водопостачання, в яких регулюючою спорудою є металеві водонапірні башти системи Рожновського, а забір води проводиться з підземних джерел. В такому випадку можна застосовувати установки для знезалізnenня баштового типу, тобто такі, де безпосередньо всередині металевої водонапірної башти вбудовано фільтр для очистки води. При цьому така очисна споруда є компактною, достатньо дешевою та простою в експлуатації.

**Досвід розробки**, впровадження, будівництва станцій баштового типу в Україні, Росії, Білорусі та інших країнах існує з 1978 р. Залежно від призначення розроблено ряд станцій баштового типу [3, 4, 5, 6]. Проте всі вони мають недоліки, такі як складність в будівництві та експлуатації, значна кількість розподільних та дренажних систем, потреба у промивних насосах та резервуарах для накопичення промивної води і таке інше.

**На кафедрі водопостачання** та бурової справи Національного університету водного господарства та природокористування м. Рівне була розроблена баштова установка, яка дозволяє не тільки якісно очищувати воду, а й створює регулюючий об'єм та необхідний напір у водопровідній мережі.

На рисунку 1 подана технологічна схема башти-колони з пристроєм для знезалізnenня води.

Установка працює наступним чином: засувки 7, 8 відкриті, засувка 6 закрита. Вихідна вода з трубопроводу 3 вільно виливається з висоти не менше 0,5 м у повітровідділювач 9, при цьому взаємодіючи з киснем повітря, яке надходить через вентиляційні отвори 13, двовалентне залізо окислюється, а утворений гідроксид заліза затримується у фільтрувальній засипці. Рівень води в повітровідділювачі 9 поступово збільшується, що забезпечує виділення повітря та регулювання швидкості фільтрування. Після повітровідділювача 9 по трубі проаерована вода перепускається під



**Рисунок 1** – Башта-колона з пінополістирольним фільтром: 1 – стовбур башти; 2 – бак башти; 3 – трубопровід подачі вихідної води; 4 – трубопровід забору відфільтрованої води; 5 – трубопровід відводу промивної води; 6 – засувка на трубопроводі відводу промивної води; 7 – засувка на трубопроводі забору відфільтрованої води; 8 – засувка на трубопроводі подачі вихідної води; 9 – повітровідділювач; 10 – вилив з труби; 11 – утримуюча решітка; 12 – пінополістирольна засипка; 13 – вентиляційні люки; 14 – оглядовий колодязь; 15 – переливна труба з повітровідділювача.

змінним тиском, для забезпечення постійної швидкості фільтрування, у нижню частину стовбуру башти 1, піднімається, проходить крізь плаваочу пінополістирольну фільтрувальну засипку 12 і, вже очищеною, подається в бак башти 2, звідки по трубопроводу 4 забирається споживачам. Робота фільтра безпосередньо пов'язана з роботою насосу і дорівнює подачі води насосним агрегатом, тобто фільтр працює в перервному режимі.

Промивка проводиться очищеною водою. При цьому засувки 7, 8 закриті, а 6 відкрита. Вода з баку башти 2 під вільним напором проходить крізь утримуючу решітку 11 та фільтрувальну засипку 12, розпушуючи її та промиваючи. Брудна вода по трубопроводу 5 відводиться у каналізацію.

Впровадження даного пристрію проводилося на реконструйованій башті, яка розташована у с. Бохоники у травні 2005 року [7]. З цією метою у металеву водонапірну башту типу Рожновського із загальним об'ємом баку 15 м<sup>3</sup>, діаметром стовбуру 1,2 м та висотою – 12 м було вбудовано систему аерування та пінополістирольний фільтр. Така установка може застосовуватися при вмісті заліза у вихідній воді до 5 мг/л, при цьому двовалентного повинно бути не менше 70 %; pH більше 6,5; лужність не менше  $(1+Fe^{2+}/28)$  мг/л; вільної вуглекислоти CO<sub>2</sub> менше 80 мг/л.

На рисунку 2 наведено загальний вигляд основних елементів конструкції та самої башти у с. Бохоники.

В якості фільтрувального матеріалу установок для знезалізnenня води запропоновано комбіновану пінополістирольну засипку, що приблизно на 20 % складається із гранул, спінених киплячою водою, а 80 % – гранули, спінені гострою парою у виробничих умовах. При спіненні киплячою водою можливе отримання гранул невеликого еквівалентного діаметру та значної питомої густини з більш розвинутою питомою поверхнею гранул, що легко змінюється в процесі їх спінювання. Проте вартість засипки отриманої вручну за допомогою киплячої води, є досить високою, а виконана робота дуже трудомісткою. Тому для зменшення вартості та спрощення приготування засипки було запропоновано застосовувати пінополістирол, спінений парою у виробничих умовах, гранули якого мають значно більший еквівалентних діаметр та меншу питому густину.



**Рисунок 2** – Загальний вигляд башти та її деталей: А) водонапірна металева башта; Б) трубопровід подачі вихідної води; В) повітровідділювач; Г) утримуюча решітка; Д) пінополістирольна засипка; Е) розміщення трубопроводів.

В таблиці 1 наведено гранулометричний склад засипки фільтру баштової установки у с. Бохонии, а в таблиці 2 – її фізичні характеристики.

**Таблиця 1** – Результати визначення гранулометричного складу використаного полістиролу

№ п/п	Характеристика полістиролу	$d_{екв}$ , мм	$d_{10}$ , мм	$d_{80}$ , мм	$K = d_{80} / d_{10}$	$d_{20}$ , мм	$R = d_{екв} / d_{20}$
1	Неспінений	1,32	1,05	1,47	1,4	1,194	1,106
2	Спінений киплячою водою	2,69	1,34	3,28	2,46	1,52	1,76
3	Спінений парою	3,89	2,71	4,38	1,62	3,20	1,22
4	Комбінованої засипки	3,65	2,43	4,16	1,78	2,86	1,33

**Таблиця 2** – Результати визначення фізичних характеристик полістиролу

№ п/п	Характеристики полістиролу	$D$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma_{\text{п}}^{\text{н}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$V_{\text{п}}$ %
1	Неспінений	1820	614	66,3
2	Спінений киплячою водою	220	39	42,5
3	Спінений парою	70	13	82
4	Комбінованої засипки	100	18,2	52

\* Примітка:  $\gamma_{\text{п}}^{\text{н}}$  – насипна густина, D – питома густина та  $V_{\text{п}}$  – пористість засипки.

Комбінована засипка дозволяє забезпечити необхідний ефект знезалізnenня та є порівняно дешевою та простою у виготовленні. Вартість 1 м<sup>3</sup> такої засипки залежить від процентного складу, вихідного матеріалу, тривалості спінення киплячою водою та об'єму спінівача і може коливатися в межах 400...880 грн.

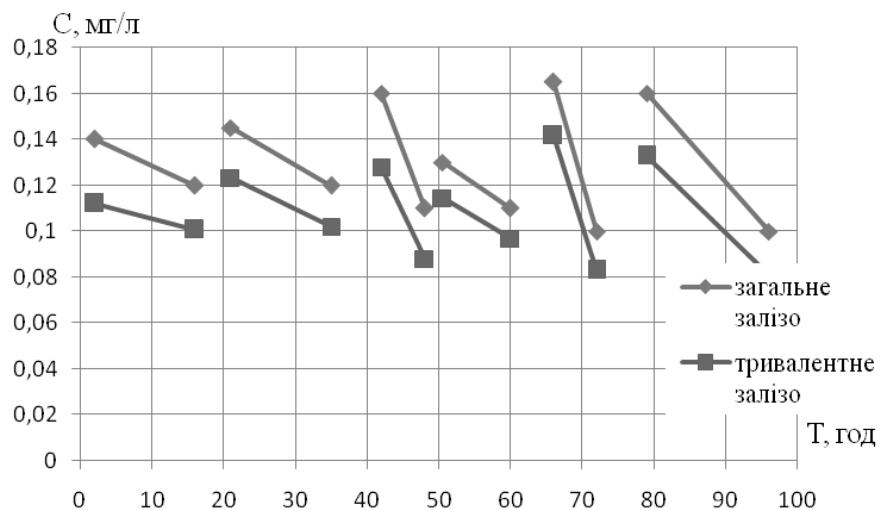
Після налагоджування роботи установки проводилися дослідження по визначеню ефекту знезалізnenня та хімічного складу артезіанської та очищеної води у с. Бохоники. Отримані результати наведені в таблиці 3.

**Таблиця 3** – Результати хімічного аналізу проб води до та після знезалізnenня, взятих безпосередньо після башти протягом усього фільтроциклу

Показники	Одиниці	Підземна	Очищена
pН	од. рН	7,3	7,28
Лужність	мг-екв/л	7,4	7,3
Жорсткість	мг-екв/л	6,7	6,7
Залізо загальне	мг/л	3,4	0,063
Залізо тривалентне	мг/л	1,25	0,05
Залізо двовалентне	мг/л	2,15	<0,05
Окисність перманганатна	мгО/л	0,8	0,72
Суший залишок	мг/л	675	545

Знезалізновальна установка працювала з швидкістю фільтрування 5,3 м/год. Промивка тривалістю 10 хв. проводилася водою з баку з середньою інтенсивністю 16 л/с·м<sup>2</sup>. Регенерація засипки проводиться звичайно через 2–3 доби.

На рисунку 3 побудовано графік концентрації загального та тривалентного заліза у воді протягом перервного фільтроциклу тривалістю 4 доби.

**Рисунок 3** – Графіки вмісту заліза у очищеної воді протягом фільтроциклу.

Дата проведення даного дослідження 18.06.2007 р. Тоді були взяті проби води на вміст заліза як у підземній, так і в очищеної воді відразу після пінополістирольного фільтру. Концентрація загального заліза у підземній воді становила 2,17 мг/л, в тому числі двовалентного – 1,32 мг/л.

**Згідно з дослідженнями**, за весь період роботи впровадженої баштової установки концентрація заліза у фільтраті не перевищувала допустиму норму 0,3 мг/л, причому концентрація заліза у вихідній воді коливалася від 1,25 до 3,4 мг/л, а ефект знезалізnenня становив 96...98 %. Отже, можна з впевненістю сказати, що використання запропонованої конструкції у системах сільськогосподарського водопостачання забезпечує якісну підготовку води для питних та господарсько-побутових цілей. Простота конструкції установки, можливість використання існуючих металевих башт, відсутність необхідності в будівництва споруд та металомістких корпусів фільтрів створюють умови для впровадження даних установок у серййоне виробництво для систем водопостачання невеликих населених пунктів або окремих промислових об'єктів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Орлов В. О. Знезалізnenня підземних вод спрошеною аерацією та фільтруванням : [монографія] / В. О. Орлов // Вісник нац. ун-ту водного господарства.— Рівне : 2006. — 159 с.
2. Gruett G. Removing Problem Iron / G. Gruett // Water Technology. — 16 (3), 1993. — P. 48—51.
3. Дзюба В. С. Нове життя водонапірним баштам оригінально, просто, ефективно / С. В. Дзюба // Вода і водочисні технології. — 2003. — № 3. — С. 21—24.
4. Курило А. Н. Впровадження установки «Десна» / А. Н. Курило // Водне господарство України. — 1996. — № 3. — С. 17—20.
5. Юрков Е. В. Обезжелезивние подземных вод на локальных установках небольшой производительности / Е. В. Юрков, В. Е. Юрков // Пробл. водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2006. — Вип. 6. — С. 33—39.
6. Pat. 4242850 USA, MPK7 B 01 D 36/00, B 01 D 24/16. Metal water tower / M. Merenyi, L. Huszar, J. Hidvegi PD 01.06.1981.
7. Орлов В. О. Впровадження установок для знезалізnenня води баштового типу в системи водопостачання сільських населених пунктів : [зб. наук. праць] / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, Н. Л. Мінаєва // Вісник НУВГП. — Рівне : 2007. — Вип. 2 (38). — С. 257—263.

Отримано 05.10.2010

В. О. ОРЛОВ, Н. Л. МИНАЕВА

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БАШНЯХ-КОЛОННАХ В СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Национальный университет водного хозяйства и природопользования

На основании анализа современного состояния обеспечения сельских населенных пунктов качественной питьевой водой и решения проблемы совмещения существующих сооружений на водопроводной сети и очистительных фильтров была предложена конструкция башни-колонны с устройством для обезжелезивания воды. Она позволяет проводить реконструкцию металлических водонапорных башен и является относительно дешевой, легкой в проектировании и эксплуатации. В качестве фильтровального материала использована комбинированная пенополистирольная засыпка. Приведены результаты экспериментальных исследований на работающей башенной установке, которые подтвердили эффективность работы предложенной конструкции.

**обезжелезивание, пенополистирольная загрузка, башенная установка, прерывный фильтроцикл**

V. O. ORLOV, N. L. MINAEVA

DE-IRONING GROUND WATERS AT THE TOWER-COLUMNS WITH EXPANDED POLYSTYRENE FILLER IN VILLAGE SETTLEMENT

National University of Water Facilities and Management of Nature

On the basis of the contemporary condition analysis of provision village settlements with qualitative drinkable water and the problem solution of combination of existing water supply system arrangements and cleaning filters, the construction of tower-column with de-ironing water devices has been proposed. It enables to carry out the reconstruction of metal water pumping towers which is relatively cheap, easy in design and operation. The combined expanded polystyrene filler has been used as filters material. The investigation results on the working tower unit having confirmed the facility effectiveness of the proposed structure have been given.

**de-ironing water, expanded polystyrene filler, tower unit, lacerated working conditions**

**Орлов Валерій Олегович** — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри водопостачання і бурової справи Національного університету водного господарства та природокористування. Наукові інтереси: знезалізnenня підземних вод на установках з пінополістирольними фільтрами. Підготовка води для господарсько-питних та промислових потреб. Інтенсифікація роботи водоочисних споруд.

**Мінаєва Наталія Леонідівна** — інженер кафедри водопостачання і бурової справи Національного університету водного господарства та природокористування. Наукові інтереси: знезалізnenня підземних вод на локальних баштових установках з пінополістирольним фільтром.

**Орлов Валерий Олегович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и бурового дела Национального университета водного хозяйства и природопользования. Научные интересы: обезжелезивание подземных вод на установках с пенополистирольными фильтрами. Подготовка воды для хозяйствственно-питьевых и промышленных нужд. Интенсификация работы водоочистительных сооружений.

**Минаева Наталия Леонидовна** — инженер кафедры водоснабжения и бурового дела Национального университета водного хозяйства и природопользования. Научные интересы: обезжелезивание подземных вод на локальных башенных установках с пенополистирольным фильтром.

**Orlov Valery Olegovich** — a D. Sc. (Engineering), a Professor, the Chair of the Water Supply and Drilling Department of the National University of Water Facilities and Management of Nature. Research interests: de-ironing of underground waters at the plants equipped with expanded polystyrene filters. Water treatment for economic and drinking, and industrial needs. Intensification of water purification structures activity.

**Minayeva Nataliya Leonidovna** — an engineer of the Water-Supply and Drilling Department of the National University of Water Facilities and Management of Nature. Research interests: de-ironing of underground waters at the local tower plant with expanded polystyrene filters.

УДК 669.162.252

**В. А. КРАВЕЦь, А. Л. ПОПОВ, А. А. ЛОЦМАН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ АЗОТОМ В ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ПРИ ПЕРЕЛИВАХ ЧУГУНА**

Обобщён опыт эксплуатации установок пылеподавления азотом при переливах чугуна в миксерных отделениях и отделениях перелива конвертерных цехов и на литьевых дворах доменных печей. Доказано многолетней эксплуатацией, что установки пылеподавления просты и надёжны, не требуют значительных затрат, обеспечивают высокую эффективность подавления бурого дыма и не влияют на технологические показатели.

**бурый дым, пылеподавление азотом, переливы чугуна**

### **1. Проблема и задачи.**

Переливы чугуна из ёмкости являются необходимым звеном технологической цепи в чёрной металлургии. Каждая порция металла на пути от домны до сталеплавильного агрегата переливается 4 раза: при выпуске чугуна из доменной печи и разливке по ковшам, при заливке в миксер, при сливе из миксера и при заливке в конвертер или мартен. При использовании миксерных чугуновозов число переливов сокращается до 3, но на Украине такая технология пока применяется только на Алчевском металлургическом комбинате. При каждом переливе в атмосферу выделяется в виде пыли 0,02–0,05 % от массы переливаемого металла. Выделяющаяся пыль состоит из двух основных компонентов: на 15–25 % из крупнодисперсной графитной пыли, которую легко уловить обычными циклонами, и на 75–85 % из мелкодисперсных оксидов железа – бурого дыма. Для улавливания бурого дыма требуется применение дорогостоящих, громоздких и сложных в эксплуатации аппаратов – электрофильтров или тканевых рукавных фильтров.

Авторами статьи разработана *технология подавления бурого дыма газообразным азотом*, которая успешно применяется на литьевых дворах доменных печей, в миксерных отделениях и отделениях перелива конвертерных цехов. Многолетний опыт эксплуатации установок пылеподавления нуждается в обобщении, что и является задачей данной статьи.

### **2. Анализ состояния проблемы.**

*Суть технологии* – в предотвращении окислительных процессов, приводящих к образованию бурого дыма, путём подачи в зону дымообразования газообразного азота [1, 4, 5].

Некоторыми авторами в качестве агента для пылеподавления предлагались природный и коксовый газ или водяной пар [2, 3]. Однако, газообразный азот в качестве пылеподавляющего агента обладает рядом преимуществ:

- 1) Газообразный азот взрыво- и пожаробезопасен.
- 2) В условиях перелива чугуна дополнительных токсичных соединений не образует, с металлом не взаимодействует.
- 3) Предприятия чёрной металлургии обладают большими ресурсами отбросного азота – побочного продукта получения кислорода методом разделения воздуха в кислородных цехах.

Подача азота производится через стационарные сопла, расположенные над наполняемой металлом ёмкостью. Азот подаётся в пустую ёмкость за 20–30 секунд до начала перелива чугуна и в течение всего процесса наполнения ковша. Применение азота позволяет снизить выбросы бурого дыма на 85–90 %, однако выбросы графитной пыли при этом не снижаются.

Применение пылеподавления возможно как самостоятельно, так и в сочетании с аспирацией и графитоулавливанием. Предлагаются следующие варианты технологии.

**1) Применение только пылеподавления азотом.**

Этот вариант был успешно осуществлён на литейном дворе доменной печи № 3 металлургического комбината «Азовсталь». Азот подавался в течение выпуска чугуна в ковши и на качающийся жёлоб. При расходе азота около  $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$  достигнуто подавление бурого дыма на 90 %. Выделение графита не изменилось, поэтому общее снижение выбросов составило около 60 %. Это позволило обеспечить санитарные нормы и отказаться от сооружения аспирационной системы.

**2) Применение пылеподавления в сочетании с графитоулавливанием в циклонах.**

Этот вариант осуществлён в миксерном отделении конвертерного цеха комбината «Азовсталь» и в отделении перелива чугуна конвертерного цеха № 2 Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК), а также был опробован в отделении перелива конвертерного цеха Череповецкого металлургического комбината. Крупнодисперсная графитная пыль практически полностью улавливается циклонами ЦН, а бурый дым подавляется азотом, поэтому выбросы в атмосферу снижаются на 85–90 %. Концентрация пыли в выбросах после циклонов составила при применении пылеподавления  $70–100 \text{ мг}/\text{м}^3$  (без азота –  $500–700 \text{ мг}/\text{м}^3$ ), что соответствует санитарным нормам.

*Дополнительной выгодой* является высокое качество улавливаемой циклонами графитной пыли. За счёт пылеподавления снижается содержание оксидов железа в пыли, улавливаемой циклонами, и содержание углерода составит около 40 % (без пылеподавления – 13 %). Такая пыль является товарным продуктом и охотно покупается Мариупольским графитовым заводом «Маркограф» по цене около 20 долларов за тонну. Применение пылеподавления в сочетании с графитоулавливанием в циклонах является оптимальным решением с точки зрения получаемого экологического эффекта на единицу затрат.

**3) Применение пылеподавления в сочетании с фильтрами**

В ряде случаев на литейных дворах доменных печей и в миксерных отделениях сталеплавильных цехов сооружаются пылеулавливающие системы, включающие электрофильтры или тканевые рукавные фильтры. Эти аппараты обеспечивают очень высокую степень очистки (98,5–99,5 %) и концентрацию пыли в выбросах менее  $50 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Это, однако, не исключает применения пылеподавления азотом в сочетании с фильтрами или, как резервный вариант, при остановках фильтров на ремонт.

В случае сочетания пылеподавления азотом с электрофильтрами или рукавными фильтрами облегчаются условия работы оборудования за счёт снижения начальной концентрации пыли. Межремонтный период фильтров должен возрасти не менее чем в два раза, что приводит к соответствующему снижению эксплуатационных затрат. Важным обстоятельством является также то, что при применении пылеподавления более чем втрое снижается количество уловленной фильтрами пыли, причём эта пыль является товарным продуктом, тогда как без подачи азота уловленная пыль, обычно вывозится в отвал.

**3. Влияние подачи азота на температуру и химический состав металла.**

Заводскими работниками иногда высказывалось мнение, что применение азота для пылеподавления может привести к заметному снижению температуры металла. В связи с этим были проведены исследования в миксерном отделении конвертерного цеха комбината «Азовсталь» и в отделении перелива чугуна ККЦ–2 ЗСМК.

В ходе экспериментов 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 исследований конвертерный цех работал без аварий, ритмично, и количество чугуна в миксере перед сливом менялось незначительно в пределах 1700–1800 т. Таким образом, температура чугуна в миксере была примерно постоянной и не зависела от того, применялось пылеподавление азотом или нет. После каждого перелива термопарой замерялась температура чугуна в ковше. Результаты приведены в таблице 1. Из табл. 1 видно, что разница в температуре чугуна при сливах с азотом и без азота составила 0,9 °С.

**Таблица 1 – 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
При расходе азота $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$	22	1300	1340	1325
Без подачи азота	23	1300	1355	1325,9

Измерения снижения температуры металла проводились также в отделении перелива чугуна ККЦ-2 ЗСМК. Температуру чугуна измеряли в миксерных чугуновозах. Сразу после слива измеряли температуру металла в ковше. Сливы чугуна с подачей азота чередовались со сливами без подачи азота. Среднее снижение температуры при сливах без подачи азота составило 6,6 °С, а при подаче азота – 7,4 °С. Следовательно, фактическое снижение температуры металла вследствие обдува его азотом составило 0,8 °С.

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.

При выплавке некоторых марок стали существенным является содержание в металле азота. В связи с этим оценивали, влияние подачи азота на содержание этого элемента в чугуне, поступающем в конвертер, а также в стали по окончании процесса плавки. Исследования выполнялись в миксерном отделении конвертерного цеха «Азовстали» и в отделении перелива чугуна ККЦ Череповецкого металлургического комбината. Отбирались пробы металла в ковше после наполнения его чугуном, и спектроскопическим методом определялось содержание в пробах азота. Установлено, что содержание азота в чугуне на комбинате «Азовсталь» колеблется в пределах 0,0032–0,0056 % по массе, как в случае подачи азота, так и в сливах без применения пылеподавления. Измерялось также содержание азота в стали после плавки в конвертере. Установлено, что концентрация азота в стали составляла 0,011–0,013 % как в случаях заливки в конвертер чугуна, слитого из миксера с применением пылеподавления азотом, так и в случаях заливки чугуна слитого без пылеподавления. На Череповецком меткомбинате содержание азота в чугуне составило 0,0042–0,0093 % по массе, но, также как и на «Азовстали», не было обнаружено существенной разницы в случае подачи азота и при сливах без пылеподавления. Не влияла подача азота и на состав стали.

Таким образом, в пределах точности эксперимента установлено, что подача азота не оказывает влияния на химический состав переливаемого чугуна и выплавляемой в конвертере стали.

#### **4. Обобщение опыта эксплуатации установок пылеподавления и методы повышения их надёжности.**

Установки пылеподавления азотом находились в постоянной эксплуатации на различных объектах в течение нескольких лет и, в целом, показали себя надёжными и простыми в обслуживании. Однако при длительной эксплуатации выявились и проблемы, потребовавшие специальных мероприятий для обеспечения бесперебойной работы.

Прежде всего, это была проблема обеспечения работоспособности сопел, расположенных над ковшом, на поверхности которых в результате попадания на них брызг чугуна наблюдалось интенсивное образование шлакометаллических настылей. Проблема настылеобразования была актуальна для объектов, где перелив металла производился с большой высоты – в миксерном отделении ККЦ металлургического комбината «Азовсталь» и на участке перелива чугуна в ККЦ Череповецкого металлургического комбината. Там, где высота падения была меньшей, например, на литьевых дворах доменных печей, такой проблемы не возникало.

Исследования показали, что в миксерном отделении ККЦ МК «Азовсталь» на высоте 0,5 м от кромки ковша общее количество брызг металла, выпадающих на горизонтальную плоскость составило около 2 г/м<sup>2</sup> в расчёте на каждую тонну перелитого чугуна. Часть брызг приваривалась к стальной поверхности, другие механически цеплялись к приварившимся частицам, образуя на поверхности сопел сплошную оболочку. Внешняя поверхность настылей была шероховатой, а внутренняя, соприкасавшаяся с поверхностью сопел, полностью повторяла форму поверхности и образовывала с ней прочное сцепление. В результате в миксерном отделении ККЦ меткомбината «Азовсталь» на поверхности стальных сопел в течение 2–3 месяцев образовывались настыли весом до 200 кг. Часть брызг попадала внутрь сопла, что приводило к образованию настылей на внутренней поверхности. Наблюдались случаи обрыва сопел под тяжестью настылей, что создавало угрозу персоналу при работе в районе миксерных весов. Очистка сопел по месту или их демонтаж оказались трудоёмкими операциями, которые необходимо было выполнять каждый месяц.

Для уменьшения настылеобразования были испытаны методы покрытия стальных сопел известковым молоком, применение сопел, изготовленных из алюминия и меди. Испытания показали, что покрытие стальных сопел известковым молоком удлиняло межремонтный период службы сопла. На поверхности алюминиевых сопел настылеобразование заметно уменьшается, однако в результате нагрева алюминиевые сопла быстро отгорают, поэтому применение сопел из алюминия нецелесообразно.

Практически полное прекращение настылеобразования было достигнуто при применении сопел, концы которых были изготовлены из меди. Применялись свальцованные из медного листа толщиной 4 мм трубы, которые приваривались к основному участку сопла специальными электродами в атмосфере аргона. Осмотр медных сопел, проведенный после года эксплуатации, показал, что на их поверхности практически нет настылей. Комплект таких сопел с медными наконечниками успешно эксплуатируется на «Азовстали» в течение многих лет.

Другой эксплуатационной проблемой, с которой пришлось столкнуться, в частности, в отделении перелива чугуна ККЦ-2 ЗСМК, оказались случаи обламывания сопел при выполнении операций, связанных с перемещением под соплами негабаритных грузов — перегруженных шлаковозных чащ или ковшей с большими настылями на кромках. Опыт показал, что для предотвращения таких случаев необходимо, чтобы высота от среза сопла до кромки ковша составляла не менее 0,5 м, однако изредка под ними перемещают чаши, в которых куски застывшего шлака выступают ещё выше. Расположение же сопел на высоте более 0,5 м над кромкой ковша приводит к снижению эффективности пылеподавления. Поэтому была разработана конструкция сопла с гибкой вставкой из металлорукава. После монтажа таких сопел на ЗСМК срок их службы резко увеличился и составил около 3 лет.

Ещё одной эксплуатационной проблемой было применение ненадёжной запорной арматуры дистанционного управления. Вначале на установках пылеподавления применялись задвижки с электроприводом, однако выяснилось, что при частых включениях двигатели быстро сгорают, особенно в зимнее время. Причиной этого было образование в газообразном азоте водного конденсата и замерзание его внутри задвижки дистанционного управления, когда шток последней находится в закрытом положении. В результате при открывании задвижки возникали большие пусковые токи, и двигатели выходили из строя.

Поэтому было принято решение перейти от задвижек с электроприводом к пневматическим мембранным отсечным клапанам дистанционного управления. При этом для создания давления под мембраной использовался сам газообразный азот, что не требовало подвода сжатого воздуха и позволило устанавливать клапаны дистанционного управления в любом месте азотопровода.

#### Выводы

1. Разработана технология подавления бурого дыма газообразным азотом, успешно внедрённая на ряде объектов. Технология может применяться как самостоятельно, так и в сочетании с графитоулавливающими аппаратами — циклонами или фильтрами.
2. Применение технологии пылеподавления обеспечивает снижение выбросов бурого дыма на 85—90 % и улучшает качество графитной пыли, превращая её в товарный продукт.
3. Применение газообразного азота не оказывает существенного влияния на температуру и химический состав чугуна.
4. Разработаны специальные мероприятия, обеспечивающие высокую эксплуатационную надёжность установок пылеподавления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравец В.А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна : [монография] / Кравец В.А. — Донецк : изд-во УкрНТЭК, 2002. — 186 с.
2. Патент 4357003 США, МКИ C21 B7/12. Способ подавления пылегазовыделений на литейном дворе доменной печи / Vajda S. (США); Jons and Laughlin Steel Corporation. — Опубл. 20.11.82, Реферативный журнал. Металлургия, 1983—11B 383П.
3. Ас. 1252342 СССР, МКИ C21 B7/12. Устройство для обработки углеродсодержащего расплава в жёлобе / Адамов Р.Г., Городецкий Я.И., Гурьев В.С. [и др.] (СССР); Опубл. 23.08.86, Бюл. № 31.
4. Иксанова Е. И. Защита окружающей среды от загрязнений / Иксанова Е. И., Иванова М. М. // Бюллєтень НТ інформації. Чорна металургія. — 1987. — № 22. — С. 35—38.
5. Патент 7382 Украина, МКИ C21/38. Способ подавления бурого дыма при наполнении ковша жидким металлом сверху / Левитасов Я.М., Кравец В.А., Погарский В.К. и др. — опубл. 29.09.95; Бюл. № 3.

Получено 07.010.2010

В. А. КРАВЕЦЬ, О. Л. ПОПОВ, Г. О. ЛОЦМАН  
УЗАГАЛЬНЕННЯ ДОСВІДУ ЗАСТОСУВАННЯ УСТАНОВОК ПИЛОПРИДУШЕННЯ АЗОТОМ В ЧОРНІЙ МЕТАЛУРГІЇ ПРИ ПЕРЕЛИВАХ ЧАВУНУ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Узагальнений досвід експлуатації установок пилопридушення азотом при переливах чавуну у міксерних відділеннях і відділеннях переливу конверторних цехів і на ливарних дворах доменних печей. Доведено багаторічною експлуатацією, що установки пилопридушення прості і надійні, не потребують значних витрат, забезпечують високу ефективність придушення бурого диму та не впливають на технологічні показники.

**бурий дим, пилопридушення азотом, переливи чавуну**

V. A. KRAVETS, A. L. POPOV, A. A. LOTS MAN  
APPLICATION OF NITROGEN DUST REMOVAL PLANTS AT PIG IRON CASTING  
IN FERROUS METALLURGY  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The experience of operation of nitrogen dust removal plants at pig iron casting in mixer departments and in casting departments of steelmaking shops and at blast-furnace shops have been generalized. Long lasting operational practice has proved that dust removal plants are simple and reliable, they do not demand considerable costs, provide high efficiency of red fume removal and do not effect on technological indices. Proved long-term use, that dust suppression installations simple and reliable, do not require significant investment, provide high efficiency of suppression of red fume and do not affect the technological parameters.

**red fume, removal by nitrogen, pig iron castings**

**Кравець Василь Анатолійович** — завідувач кафедри «Прикладна екологія та хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Д.т.н., доцент. Наукові інтереси: подавлення бурого диму, переробка промислових відходів.

**Попов Олександр Леонідович** — доцент кафедри «Прикладна екологія і хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. К.т.н. Наукові інтереси: утилізація відходів.

**Лоцман Ганна Олександровна** — асистент кафедри «Прикладна екологія і хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: утилізація відходів.

**Кравец Вашилий Анатольевич** — заведующий кафедрой «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Д.т.н., доцент. Научные интересы: подавление бурого дыма, переработка промышленных отходов.

**Попов Александр Леонидович** — доцент кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. К.т.н. Научные интересы: утилизация отходов.

**Лоцман Анна Александровна** — ассистент кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: утилизация отходов.

**Kravets Vasiliy Anatolyevych** — D. Sc. (Engineering), the Chief of the Applied Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: red fume suppression, industrial waste processing.

**Popov Aleksandr Leonidovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Applied Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: industrial waste processing.

**Lotsman Anna Aleksandrovna** — a teaching fellow of the Applied Ecology and Chemistry of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: industrial waste processing.

УДК 628.334

В. Н. ЧЕРНЫШЕВ<sup>a</sup>, В. И. НЕЗДОЙМИНОВ<sup>a</sup>, В. Ф. КИЖАЕВ<sup>a</sup>, А. М. НУДНЕНКО<sup>b</sup>, А. А. ГУРОВ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, <sup>b</sup>КП «Донецкгорводоканал»

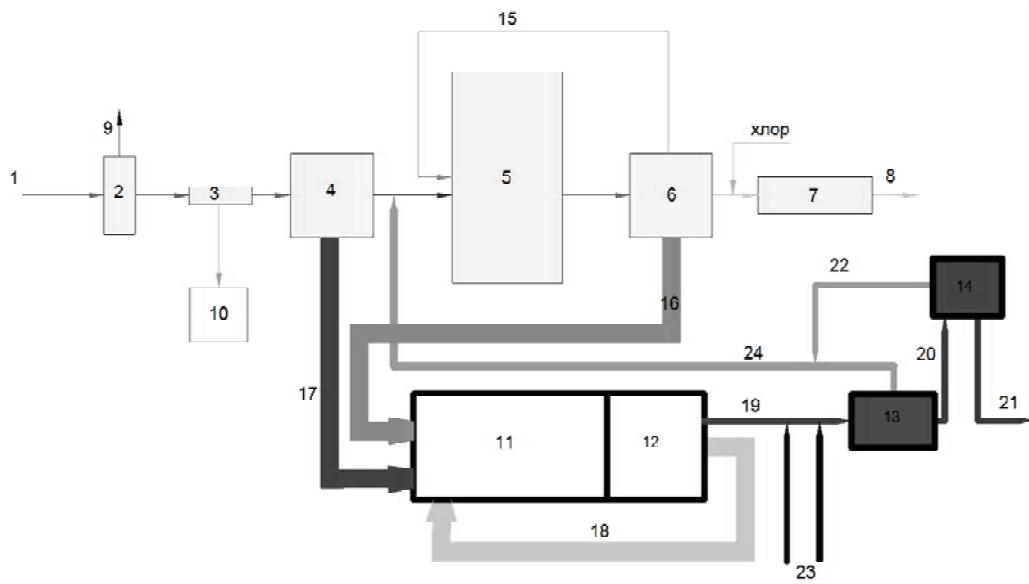
## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБОКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД ДОНЕЦКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Дано описание технологии обработки осадка с включением процесса глубокой минерализации, поставлены задачи для экспериментальных исследований по обработке осадков Донецких очистных сооружений. Приведены технологическая схема экспериментальной установки, состоящая из аэробного минерализатора и илоотделителя, и методика проведения на ней исследований. Установлено, что продолжительность минерализации не должна быть менее 7 суток, гидравлическая нагрузка на илоотделитель не должна превышать  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ . При соблюдении этих и некоторых других условий технология эффективность минерализации обеспечивает отвод из илоотделителя иловой воды с концентрацией взвешенных веществ до 300 мг/л. Полученные результаты являются основой для проектирования производственных установок в составе городских очистных сооружений.

**осадки городских сточных вод, глубокая минерализация, экспериментальная установка, результаты исследований**

**Формулировка проблемы.** Необходимость глубокой минерализации осадков городских сточных вод вытекает из возникшей проблемы с тяжелыми металлами, требующими удаления из осадков перед утилизацией. Основными недостатками в предлагаемых технологиях извлечения металлов из осадков органического происхождения является сложность технологических схем, использование большого количества реагентов, а также вымывание из осадков в процессе обработки веществ, представляющих определенную ценность для осадков, как органоминеральных удобрений [1, 2, 3]. Как правило, внедрение таких технологий требует нового строительства, что обычно связано со значительными капитальными вложениями. С этих позиций технология глубокой минерализации осадка [4] позволила бы использовать для этих целей уже существующие сооружения аэробной стабилизации или другие подходящие емкости, не задействованные в настоящее время на очистных сооружениях, и этим самым избежать больших капитальных затрат. Кроме того, надо иметь в виду, что технология глубокой минерализации позволит избежать обезвоживания основного, а иногда и всего количества органических осадков, а также с меньшими затратами удалить тяжелые металлы, поскольку придется обрабатывать только иловую воду.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В статье [4] дано обоснование и показана путем лабораторных исследований принципиальная возможность осуществления технологии глубокой минерализации осадка. В соответствии с этими исследованиями была установлена ориентировочная продолжительность аэробной минерализации, подтверждена принципиальная возможность использования для целей илоотделения процесса осветления во взвешенном слое осадка. В результате предварительных экспериментальных проработок выкристаллизовалась технологическая схема очистных сооружений (рис. 1), требующая проведения дальнейших исследований в части обработки осадков. Согласно приведенной схеме, сырой осадок первичных отстойников и избыточный активный ил аэротенков подаются в аэробные минерализаторы. После этого иловая смесь поступает в специальные илоотделители, обеспечивающие задержание хлопьевидной массы обрабатываемой смеси. Отделяемая в илоотделителях иловая вода, которая содержит мелкодисперсные глубоко минерализованные частицы обрабатываемых осадков, подвергается затем удалению из нее тяжелых металлов реагентным способом. Очищенная от тяжелых металлов иловая вода направляется в канал сточной жидкости перед аэротенками. Задержанный в илоотделителях осадок полностьюозвращается в аэробный минерализатор. Такая технология позволяет значительно увеличить возраст



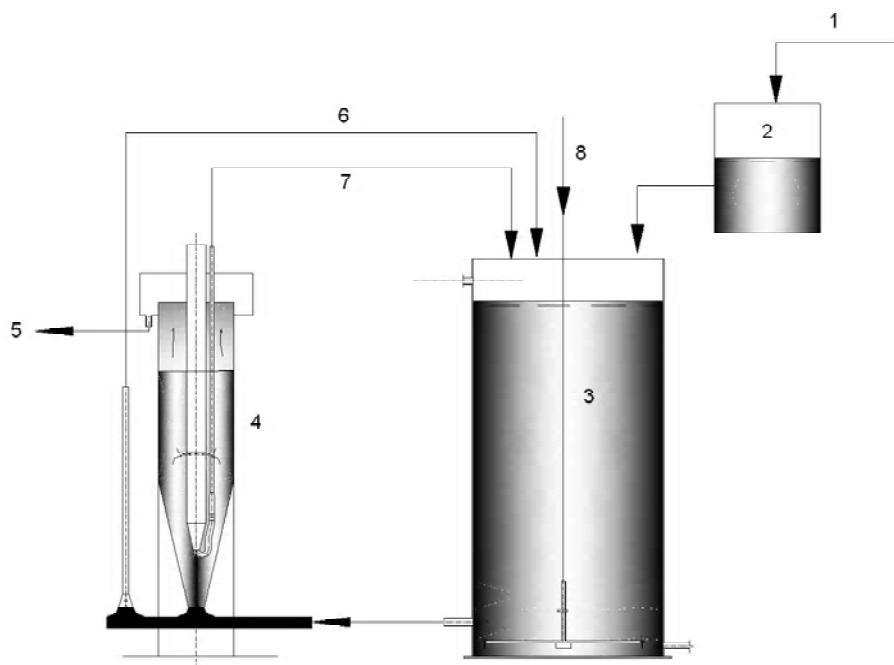
**Рисунок 1** – Технологическая схема очистных сооружений с глубокой минерализацией осадков и удалением тяжелых металлов: 1 – подача сточной жидкости; 2 – решетки; 3 – песковолки; 4 – первичные отстойники; 5 – аэротенки; 6 – вторичные отстойники; 7 – контактные резервуары; 8 – отвод очищенной сточной жидкости; 9 – отбросы; 10 – песковые площадки; 11 – аэробные минерализаторы; 12 – илоотделители; 13 – отстойники; 14 – механическое обезвоживание концентрата; 15 – возвратный активный ил; 16 – избыточный активный ил; 17 – сырой осадок; 18 – рециркулирующий ил минерализаторов; 19 – иловая вода; 20 – осадок (концентрат) на обезвоживание; 21 – обезвоженный концентрат; 22 – фильтрат; 23 – ввод реагентов; 24 – иловая вода после удаления тяжелых металлов.

активного ила в аэробном минерализаторе и сформировать биоценоз микроорганизмов, способный достаточно эффективно минерализовать высокомолекулярные органические вещества осадка. Илоотделитель по своему принципу работы обеспечивает удаления вместе с иловой водой мельчайших глубоко минерализованных частиц осадка, являющихся для обрабатываемого осадка балластом, тормозящим массообменные процессы при минерализации. Кроме того, взвешенный слой осадка в илоотделителе за счет денитрификационных процессов [5], протекающих в нем, дает возможность сдерживать в осадке накопление нитратов, что также в значительной степени устраниет торможение распада органического вещества при минерализации.

**Цели.** Описанная технология требует дополнительной экспериментальной проверки непосредственно на действующих очистных сооружениях с уточнением ряда технологических параметров работы отдельных ее элементов. С этой целью на Донецких канализационных очистных сооружениях была смонтирована экспериментальная установка по глубокой минерализации осадков.

**Основной материал.** Экспериментальная установка включала резервуар-дозатор, емкостью 0,3 м<sup>3</sup>, аэробный минерализатор емкостью 2 м<sup>3</sup> и илоотделитель, работающий по технологии осветления во взвешенном слое осадка. Схема установки приведена на рис. 2. Осадок определенным объемом сначала загружался в резервуар-дозатор, который с целью регулирования гидравлической нагрузки был оборудован специальным устройством для поддержания постоянного расхода при дозировании его в аэробный минерализатор. Суточная нагрузка на аэробный минерализатор в ходе экспериментов регулировалась объемом залитого осадка в резервуар-дозатор. Принятая система дозирования осадка на установку позволила проводить исследования, меняя независимо друг от друга параметры работы как аэробного минерализатора, так и илоотделителя. Для обеспечения необходимых гидравлических условий транспортирования осадка по трубопроводу между аэробным минерализатором и илоотделителем предусмотрена постоянная его рециркуляция. Конструкция установки обеспечивала также возможность регулирования расхода возвратного ила из илоотделителя.

Контроль над процессом минерализации осадка осуществлялся по следующим показателям: концентрации взвешенных веществ, их зольности, величине рН, содержанию в иловой воде осадка аммонийного азота, нитритов и нитратов. По иловому индексу контролировались седиментационные



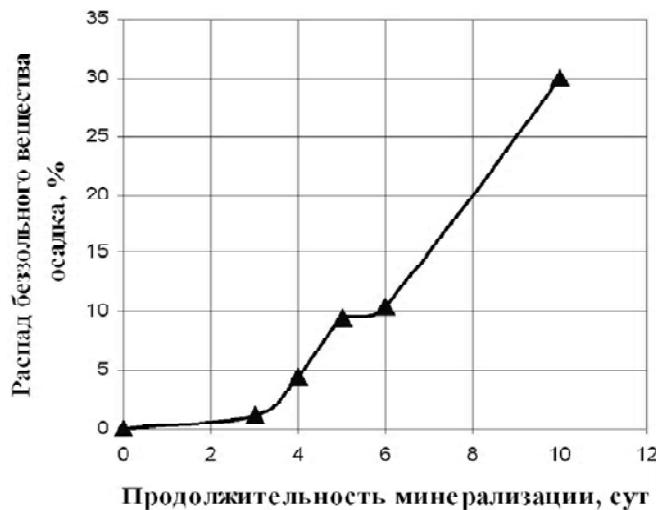
**Рисунок 2** – Схема экспериментальной установки: 1 – подача исходного осадка на минерализацию; 2 – резервуар-дозатор исходного осадка; 3 – аэробный минерализатор; 4 – илоотделитель; 5 – отвод иловой воды; 6 – рециркуляция минерализуемого осадка; 7 – возврат в минерализатор задержанного в илоотделителе осадка; 8 – подача воздуха в аэробный минерализатор.

свойства осадка. Отбор проб на анализ производился из резервуара-дозатора, аэробного минерализатора, а также из патрубка иловой воды и возвратного ила илоотделителя.

Для проверки работоспособности всех элементов установки был проведен эксперимент при ее работе в непроточном режиме. С этой целью установка предварительно была заполнена активным илом из вторичных отстойников очистных сооружений, после чего в аэробный минерализатор, а также на эрлифты рециркуляции активного ила и откачки его из илоотделителя была включена подача воздуха. В ходе эксперимента активный ил в установку дополнительно не загружался. Работа установки в этом режиме продолжалась в течение 10-ти суток. Отбор проб на анализ в данном эксперименте производился только из минерализатора. Результаты анализов приведены в таблице 1. Полученные данные наглядно свидетельствуют о протекающих в установке процессах минерализации активного ила. Так, с увеличением продолжительности минерализации наблюдается снижение концентрации сухого вещества ила, повышение его зольности и рост концентрации нитратов. В то же время следует обратить внимание на характер роста степени распада органического вещества в зависимости от продолжительности минерализации (рис. 3).

**Таблица 1** – Характеристика активного ила при работе экспериментальной установки в непроточных условиях

Продолж. аэрации, сут.	Показатели						
	Взвешен. вещества, г/л	Зольность, %	Иловый индекс, мл/г	pH	Азот аммон, мг/л	Нитриты, мг/л	Нитраты, мг/л
0	3,30	23,2	152,4	7,50	0,31	0,254	71,6
3	3,26	23,1	141,4	7,41	0,14	0,078	93,7
4	3,20	24,3	135,5	7,35	0,21	н/о	101,2
5	3,10	26,0	168,7	7,56	0,11	0,012	100,3
6	3,07	26,1	179,3	7,63	0,05	н/о	112
7	-	26,9	190,9	7,47	0,05	-	114
10	2,56	30,7	234,0	7,40	-	-	129



**Рисунок 3** – Влияние продолжительности минерализации на распад органического вещества активного ила.

Обычно результаты экспериментов по аэробной минерализации без циркуляции ила между илоотделителем и минерализатором дают картину постепенно затухающего роста степени распада органического вещества. В данном же случае наблюдается несколько иной характер изменения степени распада при той же продолжительности аэрации. Как видно из рисунка 3, скорость распада органического вещества в течение первых четырех суток минимальна, затем она возрастает до определенной величины, но за данный промежуток времени затухания скорости распада не наблюдается. Это обстоятельство дает основание предположить, что в условиях возврата ила из взвешенного слоя илоотделителя в минерализатор в осадке происходит культивирование биоценоза микроорганизмов, способного к углубленному распаду органических веществ. Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил работоспособность установки и необходимость продолжения экспериментальных исследований уже в проточных условиях.

При проведении исследований в проточных условиях решались задачи по определению качества иловой воды, выходящей из илоотделителя в зависимости от гидравлической нагрузки на него и от нагрузки на минерализатор по осадку. На первом этапе исследований на установку подавался только активный ил вторичных отстойников. В ходе экспериментов суточное количество подаваемого на установку ила на различных режимах работы составляло 0,15; 0,20 и 0,30 м<sup>3</sup>, что соответствовало продолжительности минерализации 13,3; 10,0 и 6,7 суток. Общая продолжительность экспериментов составила 11 месяцев. Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 2.

Анализируя экспериментальные данные, приведенные в таблице, следует отметить, что они в основном согласуются с данными лабораторных исследований [4]. За счет распада органического вещества осадка концентрация взвешенных веществ в иловой воде по сравнению с этим показателем в исходном иле значительно снижается. Это снижение в зависимости от продолжительности минерализации находится на уровне 95,6–98,5 %. Как видно из рисунка (рис. 4), эффективность распада с увеличением продолжительности минерализации имеет тенденцию к увеличению, но при этом уменьшается окислительная мощность минерализатора по беззольному веществу (рис. 5).

Обращает на себя внимание и работа илоотделителя при изменении гидравлической нагрузки на него при различной продолжительности минерализации. На рис. 6 приведены данные по содержанию в иловой воде взвешенных веществ при различных гидравлических нагрузках на илоотделитель, а также при разной продолжительности минерализации.

Как видно из рис. 6, при гидравлических нагрузках на водное зеркало илоотделителя, не превышающих 0,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·час), содержание взвешенных веществ в иловой воде было более или менее стабильно, но с увеличением нагрузки это содержание имело тенденцию к существенному повышению. Визуально иловая вода при нагрузках до 0,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·час) представляла собой мало концентрированную суспензию мелкодисперсных труднооседающих частиц. Зольность таких частиц значительно выше зольности взвешенных веществ из минерализатора и зольности исходного ила. Следует отметить, что при экспериментах с продолжительностью минерализации 6,7 суток и гидравлических нагрузках на



Рисунок 4 – Влияние продолжительности минерализации на ее эффективность.

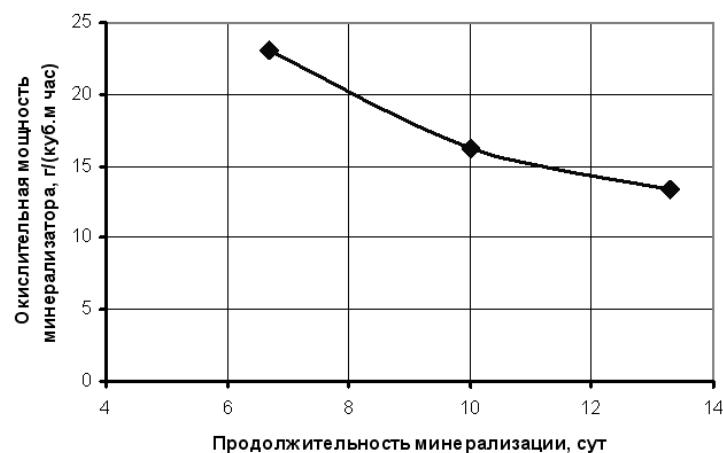


Рисунок 5 – Изменение окислительной мощности минерализатора в зависимости от продолжительности минерализации.



Рисунок 6 – Влияние гидравлической нагрузки на содержание взвешенных веществ в иловом воде на выходе из илоотделителя: 1 – при продолжительности минерализации 13,3 суток; 2 – при продолжительности минерализации 10 суток; 3 – при продолжительности минерализации 6, 7 суток.

Таблица 2 — Показатели работы экспериментальной установки

Продолж. минерал. осадка, сутки	Гидрав. нагрузка на илоотдел., $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{час})$	Место отбора проб	Показатели					
			Взвешен. вещества, г/л	Зольность, %	pH	Амм. азот, мг/л	Нитриты, мг/л	Нитраты, мг/л
13,3	0,37–0,51	резервуар-дозатор	4,90–6,74	24,1–27,4	6,64–7,46	3,30–16,8	0,135–0,25	4,7–12,3
		минерализатор	6,23–6,58	29,2–34,5	5,41–6,61	0,27–4,96	0,07–0,26	134–269
		патрубок иловой воды ило-отделителя	0,018–0,149	48,5–54,1	5,54–7,26	0,2–5,03	0,09–0,28	141–220
		трубопровод воз-вратн. ила илоотделит	5,32–9,00	30,4–35,0	5,51–7,10	0,05–4,65	0,05–0,65	123–237
10,0	0,41–0,52	резервуар-дозатор	4,56–5,95	22,6–25,5	7,22–7,8	4,9–17,6	0,162–0,84	10,4–36,1
		минерализатор	6,7–7,2	27,9–32,1	5,54–6,68	1,41–5,26	0,210–0,768	246,3–350,4
		патрубок иловой воды ило-отделителя	0,078–0,204	46,3–49,4	5,63–6,85	1,90–5,94	0,254–0,92	221,5–341,3
		трубопровод воз-вратн. ила илоотделит	6,94–7,3	28,1–50,3	5,65–6,8	1,95–6,10	0,17–0,69	227,9–337,0
6,7	0,36–0,49	резервуар-дозатор	3,9–6,3	23,3–25,8	7,20–7,65	5,94–7,42	1,397–1,621	8,9–21,9
		минерализатор	6,9–8,3	27,4–29,6	5,49–6,61	3,63–4,10	0,204–1,62	254,7–382,0
		патрубок иловой воды ило-отделителя	0,156–0,295	39,8–42,8	5,56–6,70	3,95–4,80	0,179–1,43	231,4–354,1
		трубопровод воз-вратн. ила илоотделит	7,2–9,1	28,6–30,4	5,55–6,63	3,84–4,56	0,18–1,55	245,7–362,3

илоотделитель, близких к  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ , в некоторых пробах иловой воды дополнительно обнаруживалась и небольшая часть хлопьевидных, но еще достаточно мелких частиц. Замеры положения уровня взвешенного слоя при разных гидравлических нагрузках показали, что при увеличении гидравлической нагрузки до  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$  в илоотделителе происходит небольшое повышение уровня взвешенного слоя за счет расширения последнего. При этом граница между взвешенным слоем осадка и иловой водой оставалась достаточно четкой. При дальнейшем увеличении нагрузок обнаруживалось значительно большее расширение взвешенного слоя, его граница постепенно размывалась, затем защитный слой иловой воды практически исчезал. При этом содержание взвешенных веществ в иловой воде начинало резко возрастать. Кроме того, было отмечено, что снижение продолжительности минерализации в исследуемых пределах приводило к уменьшению зольности удаляемых с иловой водой частиц осадка и некоторому повышению уровня взвешенного слоя в илоотделителе при обеспечении гидравлических нагрузок не выше  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ . При попытке снижения продолжительности минерализации менее 6,7 суток стабильность работы илоотделителя нарушалась, защитный слой иловой воды исчезал. Кроме того, в ходе экспериментов в илоотделителе обнаружилось достаточно интенсивное всплытие частиц осадка, особенно возрастающее при снижении продолжительности минерализации. Для борьбы с этим явлением илоотделитель дополнительно был оборудован устройством для пульсации уровня жидкости.

Полученные экспериментальные данные легли в основу разработки проекта реконструкции производственных аэробных стабилизаторов на действующих очистных сооружениях.

**Выводы.** Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили принципиальную возможность осуществления глубокой минерализации осадков городских сточных вод и продемонстрировали необходимость проведения следующего этапа исследований, касающегося удаления из иловой воды ионов тяжелых металлов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Утилизация осадков городских сточных вод / Делалио А., Гончарук В. В. Корнилович Б. Ю. [и др.] // Химия и технология воды. — 2003. — Т. 25, № 5. — С. 458—464.
2. Перспективные технологии в области обработки осадков / Данилович Д. А., Козлов М. Н., Аджиенко В. Е. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника, 1996. — №1. — С. 12—14.
3. Атемасов А. А. Основные направления производства органо-минеральных удобрений на основе осадков сточных вод / Атемасов А. А., Мартынов И. И. — М. : Институт экономики жилищно-коммунального хозяйства АКХ им. К. Д. Памфилова, 1990. — 80 с.
4. Чернышев В.Н. Биотехнология глубокой минерализации осадков городских сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов / Чернышев В.Н., Кижакев В.Ф. // Вода, экология, общество : материалы III междунар. науч.-практ. конф. / Харьковская национальная академия городского хозяйства. — Х. : ХНАГХ, 2010. — С. 133.
5. Hanze M. Capabilities of Biological Nitrogen Removal Processes from Wasterwater Sci. / Hanze M. — Thechnol, 1991. — v. 4. — P. 669—679.

Получено 02.09.2010

В. М. ЧЕРНИШЕВ<sup>a</sup>, В. І. НЕЗДОЙМИНОВ<sup>a</sup>, В. Ф. КИЖАЄВ<sup>a</sup>, А. М. НУДНЕНКО<sup>b</sup>,  
А. А. ГУРОВ<sup>b</sup>

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛИБОКОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД ДО-  
НЕЦЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

<sup>a</sup>Донбаська національна академія будівництва і архітектури, <sup>b</sup>КП «Донецькміськводо-  
канал»

Дано опис технології обробки осаду із включенням процесу глибокої мінералізації, поставлені завдання для експериментальних досліджень з обробки осадів Донецьких очисних споруд. Наведено технологічну схему експериментальної установки, що складається з аеробного мінералізатора і муловідділювача, і методика проведення на ній досліджень. Установлено, що тривалість мінералізації не повинна бути менше від 7 діб, гідравлічне навантаження на муловідділювач не повинне перевищувати  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{година})$ . При дотриманні цих і деяких інших умов технології ефективність мінералізації забезпечує відвід з муловідділювача мулової води з концентрацією зважених речовин не більше 300 мг/л. Отримані результати є основою для проектування виробничих установок у складі міських очисних споруд.

**осади міських стічних вод, глибока мінералізація, експериментальна установка, результати досліджен**

V. M. CHERNSHEV<sup>a</sup>, V. I. NEZDOYMINOV<sup>a</sup>, V. F. KIZHAEV<sup>a</sup>, A. M. NUDNENKO<sup>b</sup>,  
A. A. GUROV<sup>b</sup>

STUDY OF DEEP MINERALIZATION OF SEWAGE SEDIMENT IN DONETSK  
TREATMENT WORKS

<sup>a</sup>Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>b</sup>Utility Enterprise  
«Donetsk Municipal Water Canal»

The paper describes sewage sediment processing, including deep mineralization process. The problems have been set up for the investigations on sewage sediments of the Donetsk treatment works. The process design of an experimental plant consisting of an aerobic stabilizer and a sludge separator and investigation technique in the plant have been offered. Mineralization period should not be less than 7 days, hydraulic load on a sludge separator should not exceed  $0,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . At observance of the technological terms, the mineralization efficacy provides discharge sludge water from separator with concentration of suspended matter up to 300 mg/l. The received results are the basis for designing of industrial plants as a part of municipal treatment works.

**municipal sewage sediment, deep mineralization, experimental plant, results of investigations**

**Чернишев Валентин Миколайович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Водопостачання, водовідведення й охорона водних ресурсів» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інтенсифікація існуючих методів і створення нових технологій очищення стічних вод і обробки осадів.

**Нездойминов Віктор Іванович** — кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Водопостачання, водовідведення й охорона водних ресурсів» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інтенсифікація існуючих методів і створення нових технологій очищення стічних вод і обробки осадів.

**Кижев Віталій Федорович** — аспірант кафедри «Водопостачання, водовідведення й охорона водних ресурсів» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка нових методів обробки осадів міських стічних вод, що містять сполуки важких металів.

**Нудненко Анатолій Михайлович** — начальник Донецьких каналізаційних очисних споруд КП «Донецькміськводоканал». Наукові інтереси: удосконалювання методів очищення стічних вод і обробки осадів.

**Гуров Анатолій Анатольевич** — майстер Донецьких каналізаційних очисних споруд КП «Донецькміськводоканал». Наукові інтереси: удосконалювання аеробної стабілізації осадів стічних вод.

**Чернишев Валентин Николаевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: интенсификация существующих методов и создание новых технологий очистки сточных вод и обработки осадков.

**Нездойминов Виктор Иванович** — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: интенсификация существующих методов и создание новых технологий очистки сточных вод и обработки осадков.

**Кижев Виталий Федорович** — аспирант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка новых методов обработки осадков городских сточных вод, содержащих соединения тяжелых металлов.

**Нудненко Анатолий Михайлович** — начальник Донецких канализационных очистных сооружений КП «Донецкгорводоканал». Научные интересы: совершенствование методов очистки сточных вод и обработки осадков.

**Гуров Анатолий Анатольевич** — мастер Донецких канализационных очистных сооружений КП «Донецкгорводоканал». Научные интересы: совершенствование аэробной стабилизации осадков сточных вод.

**Chernyshev Valentin Mykolayovych** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Water Supply, Water Disposal and Water Resources Protection Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: raise the rate of existing methods and development new sewage treatment processes and sludge processing.

**Nezdoyminov Victor Ivanovich** — a Ph. D. (Engineering), the Chair of the Water Supply, Water Disposal and Water Resources Protection Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: raise the rate of existing methods and development new sewage treatment processes and sludge processing .

**Kizhaev Vitaly Fyodorovich** — a postgraduate of the Water Supply, Water Disposal and Water Resources Protection Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: working out of the new methods of municipal sewage sediment processing containing heavy metals compounds.

**Nudnenko Anatoly Mikhaylovich** — a supervisor of the Donetsk sewage treatment works of the UE «Donetsk Municipal Water Canal». Research interests: improvement of sewage treatment methods and sediment processing.

**Gurov Anatoly Anatolyevich** — a foreman of the Donetsk sewage treatment works of the UE «Donetsk Municipal Water Canal». Research interests: improvement of aerobic stabilization of sewage sediments.

УДК 662.612; 428.4

**О. Н. ЗАЙЦЕВ<sup>a</sup>, В. И. ШМОНЯК<sup>b</sup>, В. А. НАКОНЕЧНЫЙ<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Национальная академия природоохранного и курортного строительства, <sup>b</sup>Одесская государственная  
академия строительства и архитектуры

## **ВЗАИМОДЕЙСТВІЕ ДВУХ ВСТРЕЧНЫХ, СМЕЩЕННЫХ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ЗАКРУЧЕННЫХ ГАЗОВЫХ СТРУЙ**

Приведены результаты теоретических исследований поля скорости при взаимодействии встречных, смещенных закрученных газовых струй, показавшие нестабильность получаемой структуры вследствие воздействия прецессионного вихревого ядра, а также определено оптимальное соотношение между величиной смещения и расстоянием между патрубками.

**вихревое ядро, прецессия, аэродинамика топки**

### **Формулировка проблемы и анализ последних исследований и публикаций.**

Анализ современного состояния теории взаимодействующих закрученных потоков показывает, что свободные одиночные закрученные потоки применяются редко, в основном в теплоэнергетике используются взаимодействующие закрученные потоки, при этом в настоящее время исследовались одновременно и противоположно закрученные потоки при коаксиальном, параллельном и встречном взаимодействии [1].

Математическое описание результирующего движения в указанных исследованиях основывалось на уравнениях Новье-Стокса и теории Прандтля о путях смещения, однако при этом не учитывалось влияние на образующиеся при таком взаимодействии структуры прецессии вихревых ядер закрученных потоков, то есть область существования ПВЯ, определяемая числами Рейнольдса ( $Re > 1,8 \cdot 10^4$ ) [1, 2], когда поток нестабилен, практически не изучена и требует теоретических исследований в данной области для встречных, параллельных, встречных, смещенных в горизонтальной плоскости взаимодействующих закрученных потоков.

Кроме того, учитывая данные, полученные в [3], свидетельствующие о значительном влиянии ПВЯ на устойчивость одиночного закрученного потока и предложенную концепцию появления, развития и разрушения вихревого ядра в нем при развитой зоне обратных токов, необходимо рассмотреть вопросы, связанные с наложением колебаний вихревых ядер при взаимодействии закрученных струй и выявить условия возникновения резонансных явлений, а также обеспечения устойчивости вихревых структур в случаях нутации ПВЯ.

**Целью работы** является исследование взаимодействия двух встречных, смещенных в горизонтальной плоскости струй для управления аэродинамикой в топках котлов малой мощности.

### **Результаты исследований результирующего поля скорости.**

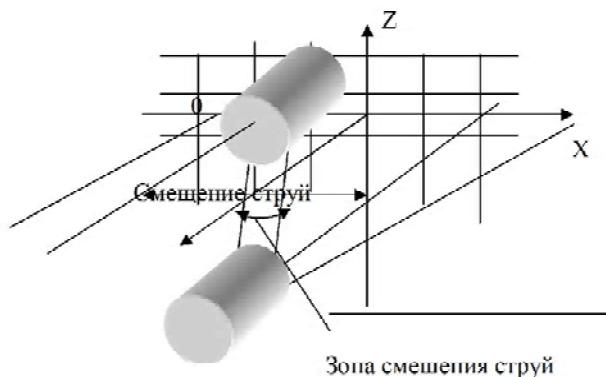
Для получения поля скоростей при взаимодействии двух встречных, смещенных, в горизонтальной плоскости свободных закрученных струй центр координат располагался на равном расстоянии от осей струй, схематично представленных на рис. 1.

Расчет осуществлялся согласно алгоритма, приведенного в [3].

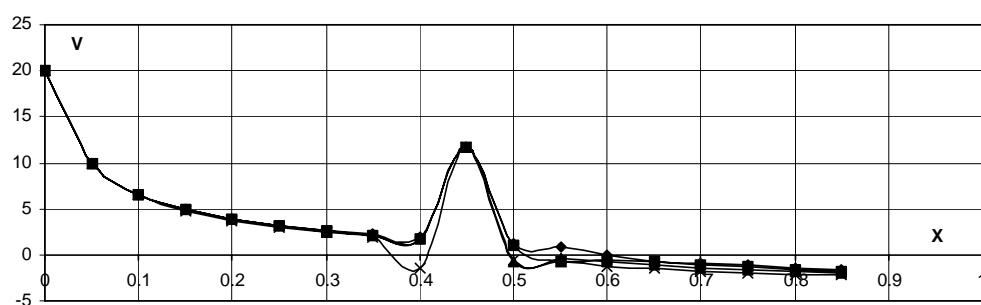
При расчетах последовательно варьировались  $t = 1 \dots 1700$  с,  $f = 0 \dots 500$  Гц, координаты  $x, y = 0 \dots 1,3$  м,  $n = 1 \dots 18$ .

Полученные результаты представлены в виде графических зависимостей варьируемых параметров от результирующей скорости.

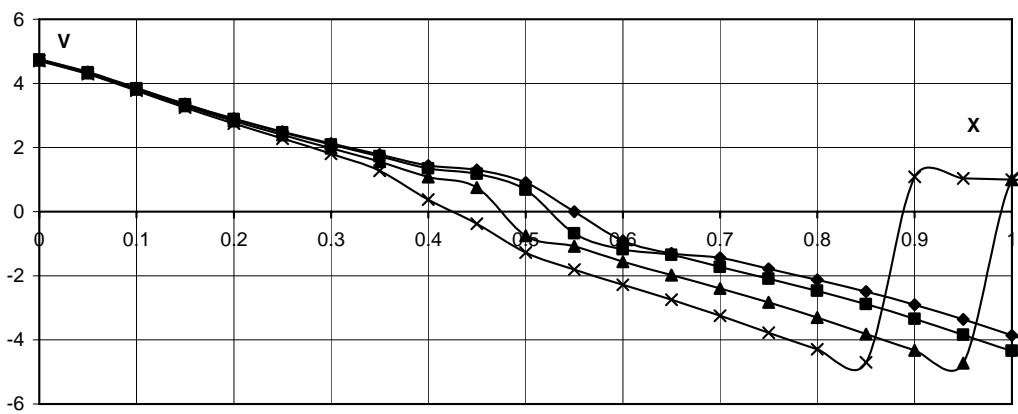
Так, представленные на рисунках 2–3 графики изменения скорости по поперечному сечению при увеличении расстояния от начала струи и смещении осей встречных закрученных потоков в горизонтальной плоскости от 0,1 до 0,4 м показали, что поле результирующей скорости в точках



**Рисунок 1** – Схема расположения координат при взаимодействии встречных, смещенных в горизонтальной плоскости закрученных струй.



**Рисунок 2** – Изменение результирующей скорости по сечению при  $y = 0,00001$  м:  
 ♦ – смещение 0,1 м; ■ – 0,2 м; ▲ – 0,3 м;  $x$  – 0,4 м.



**Рисунок 3** – Изменение результирующей скорости по сечению при  $y = 0,2$  м:  
 ♦ – смещение 0,1 м; ■ – 0,2 м; ▲ – 0,3 м;  $x$  – 0,4 м.

истечения струй аналогично полю одиночной струи до расстояния 0,5 (по срезу), далее профиль соответствует взаимодействию встречных закрученных потоков. Наблюдаемый при этом пик скорости не зависит от смещения осей струй и, очевидно, вызван прецессирующим вихревым ядром, при этом в отличие от встречных потоков он более значителен и имеет на своих границах провалы скорости, что позволяет сделать вывод о вкладе в скорость встречной, смещенной струи (которая на этом расстоянии имеет более широкие границы, но меньшую скорость). Однако, при удалении от начала струи поле скоростей расслаивается на расстоянии 0,35 по срезу, в зависимости от величины смещения, что объясняется изменением области взаимодействия струй, при этом изменение указанного пика скорости явно указывает на определяющее влияние в его формировании поля скорости второй струи,

что позволяет оценить ширину взаимодействия встречных, смещенных в горизонтальной плоскости закрученных струй — 0,35–0,65 в поперечном сечении. В остальной области прослеживается аналогия со встречными закрученными потоками.

В целом можно констатировать, что увеличение скорости происходит в более широкой области и на всем расстоянии между взаимодействующими струями, по сравнению с рассмотренными ранее видами взаимодействия закрученных струй, а влияние прецессии вихревых ядер значительно только на расстояниях, близких к местам истечения струй. Также, исходя из анализа эволюции пика скорости, вызванного сложением скоростей взаимодействующих струй, определено оптимальное соотношение между величиной смещения струй в горизонтальной плоскости и расстоянием между точками их истечения —  $l_{cm} / l_p = 0,25$ .

Изменение результирующей скорости при взаимодействии двух встречных, смещенных закрученных струй во времени, представленное на рис. 4–5, позволяет сделать вывод о наличии двух видов колебаний — первое, имеющее частоту 60 с, с незначительной амплитудой, имеется во всех рассмотренных ранее взаимодействиях закрученных потоков, вызвано их турбулентным характером движения, второе — имеющее амплитуду 400 с, вызвано, очевидно, сложением колебаний, индуцируемых прецессирующими вихревыми ядрами. При этом необходимо отметить, что второй вид колебаний имеет амплитуду, сравнимую с результирующей скоростью в данной точке, чего не наблюдается в рассмотренных ранее случаях (кроме встречных закрученных струй).

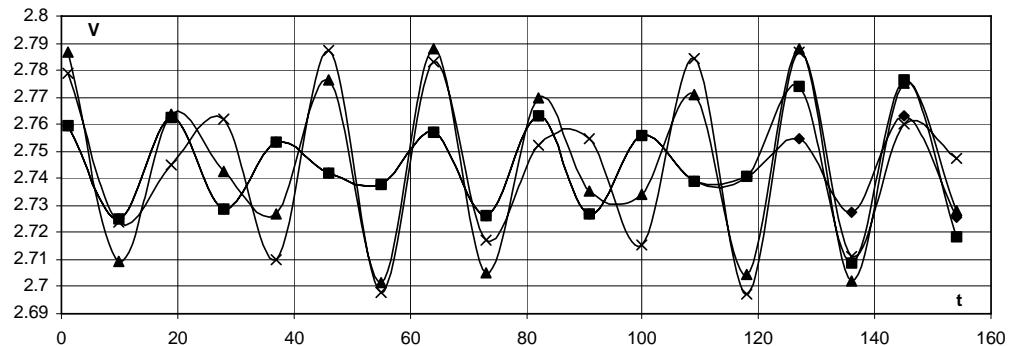


Рисунок 4 — Изменение результирующей скорости по времени при  $y = 0,2$ ,  $x = 0,05$  м:  
 ♦ — смещение 0,1 м; ■ — 0,2 м; ▲ — 0,3 м; ▼ — 0,4 м.

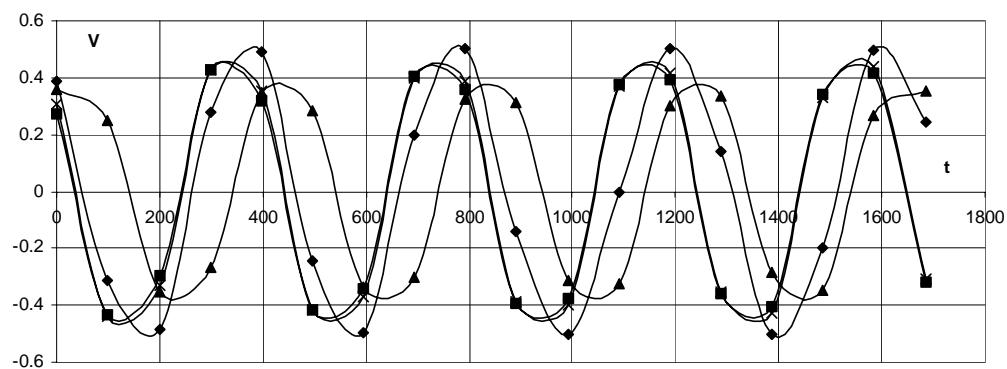


Рисунок 5 — Изменение результирующей скорости по времени при  $y = 0,2$ ,  $x = 0,05$  м:  
 ♦ — смещение 0,1 м; ■ — 0,2 м; ▲ — 0,3 м; ▼ — 0,4 м.

Максимальная величина первого вида амплитуды имеет аналогичную параллельным струям зависимость от смещения струй в горизонтальной плоскости — при смещении 0,1 и 0,3 — амплитуда меньше, чем при 0,2 и 0,4. В случае второго, более «долгого» колебания наблюдается обратная зависимость (максимальная амплитуда при смещении 0,1 и 0,3 превосходит аналогичную при смещении 0,2 и 0,4). То есть при использовании встречных, смещенных в горизонтальной плоскости закрученных струй в технических устройствах необходимо предусматривать механизм подавления второго типа колебаний как наиболее опасного для стабильного протекания процесса взаимодействия потоков.

**Выводы:**

Анализ результатов моделирования поля скорости двух встречных, смещенных в горизонтальной плоскости, закрученных струй с прецессирующими вихревыми ядрами показал, что:

— увеличение скорости происходит в более широкой области и на всем расстоянии между взаимодействующими струями, по сравнению с рассмотренными ранее видами взаимодействия закрученных струй;

— эволюция пика скорости, вызванного сложением скоростей взаимодействующих струй, определяет оптимальное соотношение между величиной смещения струй в горизонтальной плоскости и расстоянием между точками их истечения, равное  $l_{cm} / l_p = 0,25$ ;

— максимум скорости при увеличении смещения между струями смещается к горизонтальной оси и, имея меньшую величину, превосходит другие пики по ширине, что происходит вследствие вовлечения в движение покоящегося воздуха между струями, при этом такая же прослойка с нулевой тангенциальной скоростью будет возникать за счет ширины этого взаимодействия и при проникновении струй друг в друга;

— изменение результирующей скорости во времени имеет два колебательных контура — с периодом в 60 с, и незначительной амплитудой, второй — 400 с, при этом второй вид колебаний имеет амплитуду, сравнимую с результирующей скоростью в данной точке, что при использовании встречных, смещенных в горизонтальной плоскости закрученных струй в технических устройствах требует предусматривать механизм подавления второго типа колебаний как наиболее опасного для стабильного протекания процесса взаимодействия потоков.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А. Гупта Закрученные потоки / А. Гупта, Д. Лилли, Н. Сайред. — М. : Мир, 1987. — 588 с.
2. Штихлинг Г. Теория пограничного слоя / Штихлинг Г. — М. : Наука, 1974. — 711 с.
3. Зайцев О. Н. Управление аэродинамической обстановкой в рабочем объеме теплогенерирующих установок / Зайцев О. Н. // Вісник ОДАБА : сб. науч. трудов. — 2002. — № 7. — С. 60—64.
4. Устименко Б. П. Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях / Устименко Б. П. — Алма-Ата : Наука, 1977. — 228 с.
5. Штым А. Н. Аэродинамика циклонно-вихревых камер / Штым А. Н. — Владивосток : изд-во Дальневосточного университета, 1984. — 200 с.

Получено 07.10.2010

О. М. ЗАЙЦЕВ<sup>a</sup>, В. І. ШМОНЯК<sup>b</sup>, В. О. НАКОНЕЧНИЙ<sup>b</sup>  
ВЗАЄМОДІЯ ДВОХ ЗУСТРІЧНИХ, ЗМІЩЕНИХ В ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ ЗАКРУЧЕНИХ ГАЗОВИХ СТРУМЕНІВ

<sup>a</sup>Національна академія природоохоронного і курортного будівництва, <sup>b</sup>Одесська державна академія будівництва і архітектури

Наведено результати теоретичних досліджень поля швидкості при взаємодії зустрічних, зміщених закручені газові струмінів, що показали нестабільність отримуваної структури внаслідок дії вихрового ядра, що прецесує, а також визначено оптимальне співвідношення між величиною зміщення і відстанню між патрубками.

**вихрове ядро, прецесія, аеродинаміка топки**

O. N. ZAITSEV<sup>a</sup>, V. I. SHMONYAK<sup>b</sup>, V. A. NAKONECHNIY<sup>b</sup>  
INTERACTION OF TWO OPPOSING SWIRLED GAS JETS DISPLACED IN HORIZONTAL PLANE

<sup>a</sup>National Academy of Nature Protection and Resort Construction, <sup>b</sup>Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

The results of the research of the velocity field at the interaction of opposing displaced swirled gas jets having showed instability of the obtained structure in consequence of effect of precession vortex core have been given in the paper. The optimal relation between the displacement value and the distance between the branch pipes has been also determined.

**vortex core, precession, aerodynamics of furnace**

**Зайцев Олег Миколайович** — завідувач кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція» Національної академії природоохоронного і курортного будівництва, д.т. н., професор. Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання. Аеродинаміка топок котлів малої потужності.

**Шмоняк Василь Йосипович** — аспірант кафедри опалення, вентиляції та охорони навколошнього середовища Одеської державної академії будівництва і архітектури, інженер. Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання. Аеродинаміка топок котлів малої потужності.

**Наконечний Василь Андрійович** — аспірант кафедри опалення, вентиляції та охорони навколошнього середовища Одеської державної академії будівництва і архітектури, інженер. Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання. Аеродинаміка топок котлів малої потужності.

**Зайцев Олег Николаевич** — заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» Национальной академии природоохранного и курортного строительства, д.т.н., профессор. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения. Аэродинамика топок котлов малой мощности.

**Шмоняк Василий Иосифович** — аспирант кафедры отопления, вентиляции и охраны окружающей среды Одесской государственной академии строительства и архитектуры, инженер. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения. Аэродинамика топок котлов малой мощности.

**Наконечный Василий Андреевич** — аспирант кафедры отопления, вентиляции и охраны окружающей среды Одесской государственной академии строительства и архитектур, инженер. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения. Аэродинамика топок котлов малой мощности.

**Zaitsev Oleg Nikolayevich** — D. Sc. (Engineering), a Professor, the Chair of the Heat Supply and Ventilation Department of the National Academy of Nature Protection and Resort Construction. Research interests: energy conservation in heat supply systems. Aerodynamics of low capacity boiler furnaces.

**Shmonyak Vasily Yosiphovich** — a post-graduate student of the Heating, Ventilation and Environmental Protection Department of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, an engineer. Research interests: energy conservation in heat supply systems. Aerodynamics of low capacity boiler furnaces.

**Nakonechny Vasily Andreyevich** — a post-graduate student of the Heating, Ventilation and Environmental Protection Department of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, an engineer. Research interests: energy conservation in heat supply systems. Aerodynamics of low capacity boiler furnaces.

УДК 66.021.1/4

**Т. В. ДИХТАРЬ**

Національна академія природоохрannого и курортного строительства

## **ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕПЛОМАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ «ВОЗДУХ – ВОДА» ПРИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ**

На процесс биологической очистки оказывают влияние температуры исходных сточных вод и наружного воздуха. Основным направлением влияния температурного режима работы сооружений является изменение коэффициента использования кислорода воздуха. Влияние температуры сточных вод на концентрацию кислорода в аэротенках ведет к изменению активности жизнедеятельности микроорганизмов. Повышение температуры за пределы физиологической нормы приводит к гибели микроорганизмов, в то время как понижение температуры вызывает лишь снижение активности микроорганизмов, а, следовательно, к меньшему потреблению кислорода и ухудшению качества очистки. Резкие колебания температуры сточных вод в течение суток вызывают снижение активности микроорганизмов и требуют адаптации к изменившимся условиям. В условиях низких температур вязкость воды значительно увеличивается. В зимний период, когда мощность биологического окисления снижается, аэротенкам необходимо работать с более высокой дозой ила. Протекание химических и физико-химических реакций во многих случаях сопровождается тепловыми, массообменными и гидромеханическими процессами [1, 2].

**вода, очистка, аэротенк, пневматическая аэрация, пневмомеханическая аэрация, сточные воды, пузырек воздуха, коэффициент массопередачи, скорость всплытия, диаметр пузырька**

**Формулировка проблемы.** Основными факторами, оказывающими влияние на эффективность биологической очистки сточных вод, являются температуры исходных сточных вод и наружного воздуха. Постепенное изменение температуры воды в относительно больших интервалах не опасно для микроорганизмов, которые способны адаптироваться к новым условиям. Вместе с тем внезапное изменение температуры воды даже в пределах 10–15 °С способно вызывать массовое отмирание микроорганизмов. Оптимальной температурой иловой смеси считаются температуры 15–25 °С. Недопустимо снижение температуры ниже 5 °С [3].

Основные теоретические результаты работы получены при выполнении НИР в соответствии с Законами Украины: «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», пункт 3 «Збереження навколошнього середовища та стадій розвиток» и пункт 6 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі». Направление работы соответствует плану ДКТН Украины, раздел 04.12 «Економічні та технологічні засади енерго- та ресурсозбереження; стратегія розвитку енергетики».

**Анализ последних исследований и публикаций.** Тепломассообменные процессы отражены в расчетных соотношениях для определения константы скорости биоокисления  $K_{ok}$  [4]:

$$K_{ok} = \frac{\beta C_{no}}{\alpha C_{ro}}, \quad (1)$$

где  $C_{no} = 0,3 \text{ кг} / \text{м}^3$  – концентрация кислорода в атмосферном воздухе;  
 $C_{ro}$  – начальная концентрация загрязнений,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $\beta$  – коэффициент массопередачи кислорода воздуха к воде;  
 $\alpha$  – энергетический коэффициент,  $\text{м}$  [5]

$$\alpha = \alpha_{20} \cdot 1,047^{20-T_w}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{20} = (0,4 - 0,6) \text{ м}$ ;  
 $T_w$  — температура воды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Коэффициент массопередачи определяется по формуле [5]

$$\beta = \sqrt{\frac{D\xi\rho v^3}{2\sigma}}, \quad (3)$$

где  $D = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м/с}$  — коэффициент молекулярной диффузии;  
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  — плотность воды;  
 $\sigma = 0,0728 \text{ Н/м}$  — коэффициент поверхностного натяжения воды;  
 $\xi$  — коэффициент сопротивления всплытию пузырьков.

$$\left. \begin{array}{ll} \text{При } \text{Re} \prec 2 & \xi = 24/\text{Re}; \\ \text{При } 2 \leq \text{Re} \prec 500 & \xi = 18,5/\text{Re}^{0,6}; \\ \text{При } \text{Re} \succ 500 & \xi = 0,44. \end{array} \right\} \quad (4)$$

где  $\text{Re}$  — число Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (5)$$

где  $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  — коэффициент кинематической вязкости воды;  
 $v$  — скорость всплытия пузырька,  $\text{м/с}$ ;  
 $d$  — диаметр пузырька воздуха,  $\text{м}$  [6]

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot \sigma \cdot d_o}{g \cdot \rho \left(1 - \frac{\rho_e}{\rho}\right)}}, \quad (6)$$

где  $d_o$  — диаметр отверстия барботера.

**Цели.** Целью настоящей работы является исследование процессов тепломассообмена и влияния изменения температуры воды на параметры процесса очистки в аэротенке.

**Основной материал.** Влияние температуры воды  $T_w$  на параметры процесса очистки проявляется через плотность воды и коэффициент поверхностного натяжения воды.

При увеличении  $T_w$  от 5 до  $28^{\circ}\text{C}$  плотность уменьшается на 0,38 %, с 999,99 до  $996,18 \text{ кг/м}^3$  [7]. Коэффициент поверхностного натяжения воды также уменьшается с увеличением температуры на 4,95 %, с 75,22 до  $71,5 \text{ Н/м}$ , поэтому отношение  $\sigma / \rho$  в указанном диапазоне изменяется на 4,8 %.

Табличные данные по плотности и поверхностному натяжению [7] позволили получить формулу, по которой можно определить зависимость изменения скорости всплытия пузырьков воздуха от температуры воды

$$\rho / \sigma = 13000 + 131T_w^{0,604}. \quad (7)$$

Скорость всплытия пузырька определяется соотношением:  
для пневмомеханической аэрации [3]

$$v = 4,76 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho \cdot d_{II}}}, \quad (8)$$

где  $d_{II}$  — диаметр дробленного пузырька;

для пневматической аэрации

$$d \succ 1,4 \text{ мм} \quad [3] \quad v = 4,76 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho \cdot d}}, \quad (9)$$

$$d \leq 1,4 \text{ мм} [6] \quad v = \frac{gd^2(1 - \rho_e / \rho)}{18\nu} \quad (10)$$

Табличные значения коэффициента кинематической вязкости  $\nu$  [4] можно описать соотношением:

$$\nu = \frac{2,64 \cdot 10^{-6}}{T_w^{0,3435}}. \quad (11)$$

Приведены зависимости изменения скорости всплытия пузырьков воздуха от температуры сточных вод для различных диаметров отверстия барботера (рис. 1–2).

Из графиков видно, что при  $d > 1,4 \text{ мм}$  с увеличением температуры скорость всплытия уменьшается на 2,3 %, а при  $d \leq 1,4 \text{ мм}$  скорость всплытия увеличивается на 44,8 % в диапазоне от 5 до 28 °C.

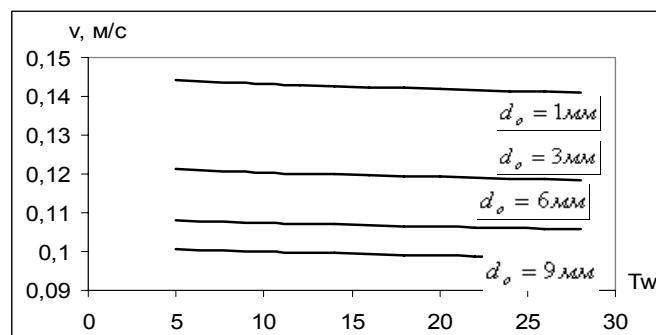


Рисунок 1 – Зависимость скорости всплытия пузырька воздуха от температуры сточных вод при  $d > 1,4 \text{ мм}$ .

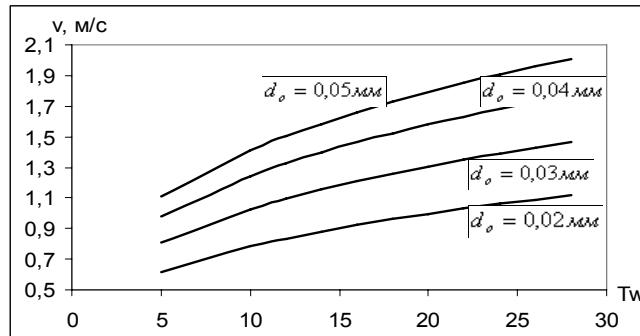


Рисунок 2 – Зависимость скорости всплытия пузырька воздуха от температуры сточных вод при  $d \leq 1,4 \text{ мм}$ .

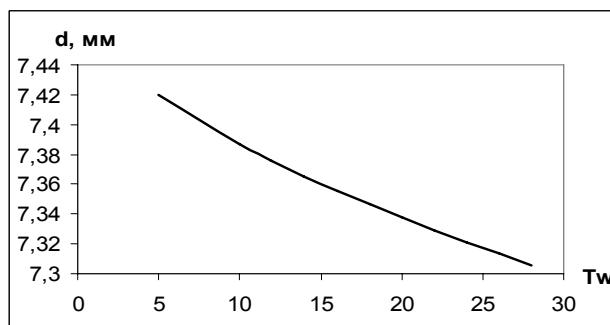


Рисунок 3 – Зависимость диаметра пузырька воздуха от температуры сточных вод ( $d_o = 9 \text{ мм}$ ).

Приведена зависимость диаметра пузырька воздуха от температуры сточных вод (рис. 3).

Анализируя зависимость, можно сделать вывод, что с увеличением температуры воды диаметр пузырька уменьшается на 1,5 % в диапазоне от 5 до 28 °C.

Коэффициент массопередачи для пневматической аэрации определяется по формуле (3).

Для пневмомеханической аэрации [3]

$$\beta = \sqrt{\frac{D\xi\rho v_m v_{II}^2}{2\sigma}}. \quad (12)$$

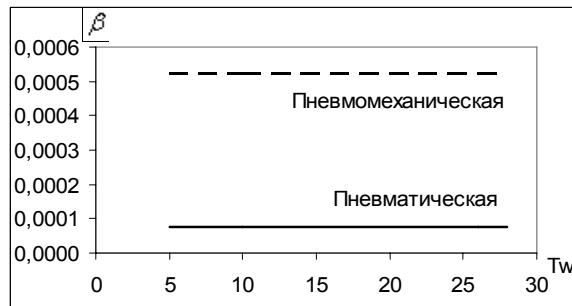


Рисунок 4 — Зависимость коэффициента массопередачи от температуры сточных вод при  $d > 1,4 \text{ мм}$  ( $d_o = 9 \text{ мм}$ ).

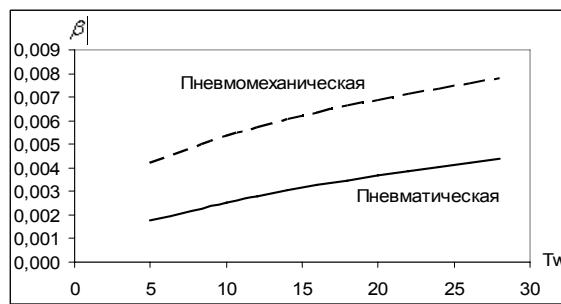


Рисунок 5 — Зависимость коэффициента массопередачи от температуры сточных вод при  $d \leq 1,4 \text{ мм}$  ( $d_o = 0,03 \text{ мм}$ ).

Приведены зависимости коэффициента массопередачи от температуры сточных вод (рис. 4–5).

Анализ графика показал, что при диаметре пузырька воздуха  $d > 1,4 \text{ мм}$  температура сточных вод не влияет на коэффициент массопередачи, а при  $d \leq 1,4 \text{ мм}$  с увеличением температуры коэффициент массопередачи увеличивается на 59,8 % в диапазоне от 5 до 28 °C.

Температура сточных вод также оказывает влияние на эффективность очистки [3]. Расчеты проводились при расходе сточных вод  $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ , начальной концентрации загрязнений  $L_{en} = 500 \text{ мг/л}$ , диаметре пузырька воздуха  $d = 9 \text{ мм}$  (рис. 6).

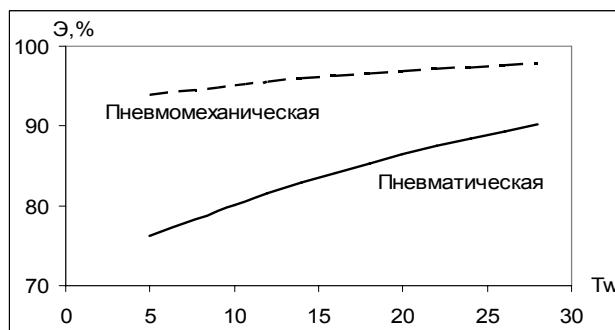


Рисунок 6 — Зависимость эффективности очистки от температуры сточных вод.

Из графика видно, что с увеличением температуры эффективность очистки возрастает на 8,1 % при пневматической и на 2,0 % при пневмомеханической аэрации в диапазоне от 5 до 28 °C.

**Выводы.** В результате исследований процессов тепломассообмена в системе «воздух — вода» установлено влияние изменения температуры воды на параметры процесса очистки в аэротенках с пневматической и пневмомеханической аэрацией. При понижении температуры воды уменьшается скорость биоокисления. Таким образом, для обеспечения более высокой степени очистки необходимо повысить энергетические затраты, т. е. увеличить удельный расход воздуха, подаваемого в аэротенк.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Daigger G. T. The dynamics of microbial growth on soluble substrats / Daigger G. T. // WaterResearch. — 1982. — Vol 6. — P. 365–382.
2. Берд Р. Явление переноса / Берд Р., Стьюард В., Лайфут Е. — М. : Химия, 1974. — 688 с.
3. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Стренк Ф. — Л. : Химия, 1975. — 384 с.
4. Боровский Б. И. Массопередача при биологической очистке сточных вод в аэротенках : [монография] / Б. И. Боровский, Т. В. Дихтярь. — Симферополь : НАПКС, 2007. — 68 с.
5. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Брагинский Л. Н., Евилевич М. А., Бегачев В. И. [и др.]. — Л. : Химия, 1980. — 48 с.
6. Кафаров В. В. Основы массопередачи / Кафаров В. В. — М. : Высшая школа, 1962. — 439 с.
7. Справочник энергетика / [Григорьев В., Киреева Э. А., Быстрицкий Г. Ф. [и др.]. — М. : изд-во НЦ ЭНАС, 2006. — 488 с.

Получено 07.10.2010

Т. В. ДІХТЯР

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМІ «ПОВІТРЯ — ВОДА» ПРИ БІОЛОГІЧНОМУ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ

Національна академія природоохоронного та курортного будівництва

На процес біологічного очищення чинять вплив температури початкових стічних вод і зовнішнього повітря. Основним напрямом впливу температурного режиму роботи споруд є зміна коефіцієнта використання кисню повітря. Вплив температури стічних вод на концентрацію кисню в аэротенках веде до зміни активності життєдіяльності мікроорганізмів. Підвищення температури за межі фізіологічної норми призводить до загибелі мікроорганізмів, тоді як пониження температури викликає лише зниження активності мікроорганізмів, а, отже, до меншого споживання кисню і погрішення якості очищення. Різкі коливання температури стічних вод протягом доби викликають зниження активності мікроорганізмів і вимагають адаптації до умов, що змінилися. В умовах низьких температур в'язкість води значно збільшується. У зимовий період, коли потужність біологічного окислення знижується, аэротенкам необхідно працювати з вищою дозою мулу. Протікання хімічних і фізико-хімічних реакцій у багатьох випадках супроводжується тепловими, масообмінними і гідромеханічними процесами [1, 2].

вода, очищення, аэротенк, пневматична аерація, пневмомеханічна аерація, стічні води, бульбашка повітря, коефіцієнт масопередачі, швидкість спливання, діаметр бульбашки

T. V. DIKHTYAR

EFFECT OF THERMAL AND PHYSICAL PROPERTIES ON MASS AND HEAT EXCHANGE PROCESSES IN «AIR — WATER» SYSTEM AT BIOLOGICAL SEWAGE TREATMENT IN AIR TANKS

National Academy of Nature Protection and Resort Construction

Temperature of initial sewage and storm water effluents and outside air effects on the biological sewage treatment. The basic trend of effect of temperature condition of structural work is the change of utilization factor of oxygen in the air. The temperature effect of waste water on the concentration of oxygen in air tanks leads to the change of activity of vital functions of microorganisms. The temperature increase beyond the bounds of physiological norms results in death of microorganisms, while decreasing the temperature causes just the decline of activity of microorganisms, and, consequently, to the less consumption of oxygen and treatment deterioration. Sharp fluctuations of the sewage temperature during twenty-four hours cause the decline of activity of microorganisms and require adaptation to the changing terms and conditions. At

low temperatures the viscosity of water increases considerably. In winter, when the biological oxidation capacity falls, the air tanks have to work with larger amount of silt. In many instances, the chemical changes and physical and chemical reactions proceed with mass, heat exchange and hydromechanics processes [1, 2].

**water, treatment, air tank, pneumatic aeration, pneumatic and mechanical aeration, sewage, air bubble, mass transfer coefficient, floating velocity, diameter of a bubble**

**Діхтяр Тетяна Валеріївна** — доцент кафедри «Теплогазопостачання та вентиляція» Національної академії природоохоронного та курортного будівництва. Наукові інтереси: розвиток методики вибору енергетично ефективних видів аерації систем очищення викидів рідини. Енергозбереження в тепломассообмінних процесах очищення викидів від промислових об'єктів.

**Дихтяр Татьяна Валериевна** — доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Национальной академии природоохранных и курортного строительства. Научные интересы: развитие методики выбора энергетически эффективных видов аэрации систем очистки выбросов жидкости. Энергосбережение в тепломассообменных процессах очистки выбросов от промышленных объектов.

**Dikhtyar Tat'yana Valerievna** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Heat, Gas Supply and Ventilation Department of the National Academy of Nature Protection and Resort Construction. Research interests: development of methods of choosing of power efficient types of aeration in the treatment systems of wastewater emissions. Energy conservation in the mass and heat exchange processes of treatment of industrial object emissions.

УДК 628.1

**С. В. КОВТУН, Д. В. ЗАВОРОТНЫЙ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **К ВОПРОСУ УЧЁТА НЕКОТОРЫХ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ РАСЧЁТЕ ВНУТРЕННИХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ЗДАНИЯ**

Рассмотрены вопросы гидравлического расчёта внутренних водопроводных сетей здания, в частности определения и учета местных сопротивлений сети, таких как счётчик воды, сетчатый фильтр, обратный клапан, которые входят в состав квартирного водомерного узла. Обоснована необходимость учёта при расчёте величины требуемого напора не только местного сопротивления счётчика воды, но и сетчатого фильтра и обратного клапана.

**внутренний водопровод здания, потери напора, местные сопротивления, счётчик воды, сетчатый фильтр, обратный клапан**

**Формулировка проблемы.** Одним из важных параметров, который определяется при гидравлическом расчёте внутренних водопроводных сетей здания, является требуемый напор, который существенным образом зависит от величины потерь напора на местных сопротивлениях сети.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Действующие нормативные документы не акцентируют внимание на некоторых видах местных сопротивлений, а имеющиеся технические данные из зарубежной справочной литературы не адаптированы к отечественной практике проектирования инженерных систем.

**Цель.** Определить (оценить) влияние некоторых видов местных сопротивлений на величину требуемого напора воды при расчёте внутренних водопроводных сетей здания.

### **Основной материал.**

Основными способами гидравлического расчёта внутренних инженерных сетей здания, как в отечественной, так и зарубежной практике проектирования, являются:

- по удельным линейным потерям давления,
- по характеристикам гидравлического сопротивления.

Фундаментальным (классическим) уравнением, которое используется при гидравлическом расчёте как водопроводных, так и канализационных сетей, является уравнение Бернулли [1, 2].

Уравнение Бернулли выражает закон сохранения энергии для потока реальной жидкости:

$$E_1 = E_2 + h\omega, \quad (1)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  — удельная энергия потока в начальном и конечном сечениях, т. е. механическая энергия потока, отнесённая к его весовому расходу;

$h\omega$  — энергия, потерянная на пути движения потока от сечения 1–1 до сечения 2–2.

Если движение жидкости равномерное или близкое к равномерному (медленно изменяющееся), а живое сечение можно принять плоским, перпендикулярным осевой линии, и пренебречь составляющими скоростями в этой плоскости сечения, то давление в живом сечении распределяется по гидростатическому закону:  $z + \frac{p}{\gamma} = \text{idem}$  во всех точках живого сечения.

В данном случае формула (1) примет вид, широко применяемый в расчётах:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h\omega, \quad (2)$$

здесь  $z$  — высота любой точки в живом сечении потока относительно плоскости сравнения;

$\frac{p}{\gamma}$  — приведенная или пьезометрическая высота гидродинамического давления (абсолютного или манометрического) в этой же точке, для которой взят отчёт  $z$ ;

$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$  — скоростной напор;

$\alpha$  — коэффициент Кориолиса;

индексы 1 относятся к параметрам потока в сечении 1–1, а индексы 2 — в сечении 2–2.

Величина коэффициента  $\alpha$  зависит от распределения скорости по сечению и определяется по формуле:

$$\alpha = \int_{\omega} \frac{u^3 d\omega}{v^3 \omega} \approx 1 + 3 \int_{\omega} \frac{(u - v)^2 d\omega}{v^2 \omega}, \quad (3)$$

где  $u$  — местная скорость (скорость в любой точке) живого сечения  $\omega$ ;

$v$  — средняя скорость потока.

Обычно принимают  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ . Потери напора, выражаемые в уравнении Бернулли членом  $h\omega$ , делят на два вида:

— потери, пропорциональные длине потока и обусловлены силами трения между жидкостью и стенками трубопровода, называемые потерями напора по длине  $h_d$ ;

— потери, сосредоточенные на коротких участках потока и обусловленные изменением скорости потока по величине или по направлению, называемые местными потерями напора  $h_m$ .

Местные потери напора выражаются по формуле Вейсбаха, Па:

$$h_m = \xi_m \frac{v^2}{2g} = S Q_c^2, \quad (4)$$

где  $\xi_m$  — коэффициент местного сопротивления, отнесённый к тому сечению потока, протекающего через местное сопротивление, в котором берётся средняя скорость  $v$ ;

$S$  — модуль местного сопротивления;

$Q_c$  — объёмный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

В проектной практике стран Западной Европы используют его в виде:

$$\Delta P^* = \frac{1}{k_v} Q^2, \quad (5)$$

где  $\Delta P^*$  — потери давления, бар;

$Q$  — объёмный расход воды,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$k_v$  — пропускная способность,  $(\text{м}^3/\text{час})/\text{бар}^{0.5}$ .

Физический смысл параметра  $k_v$  для местных сопротивлений состоит в том, что он численно равен объёмному расходу воды в  $\text{м}^3/\text{час}$ , при котором происходит номинальный перепад давления в них, равный  $10^5$  Па (бар). Поэтому часто в каталогах и справочниках пренебрегают знаменателем при указании единиц измерения, представляют их как  $\text{м}^3/\text{час}$ , теряя за этим физический смысл параметра.

Определение параметра  $k_v$  для условий, отличающихся от номинальных, при заказе и составлении спецификации оборудования, осуществляют по формуле:

$$k_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P^*}} = \frac{G}{\rho \sqrt{10^{-5} \Delta P}}, \quad (6)$$

или, принимая плотность воды  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>,

$$k_v = 0,316 \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}, \quad (7)$$

где  $G$  — массовый расход,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$\Delta P$  — потери давления, Па.

Параметр  $k_v$  является аналогом проводимости  $\sigma$  ( $\text{кг}/\text{час})/\text{Па}^{0.5}$ , используемой отечественными проектировщиками и связанной с характеристикой сопротивления:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{S}} = \frac{G}{10\sqrt{\Delta P}}. \quad (8)$$

При  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, с учётом единиц измерения,

$$S = \frac{10}{k_v^2}, \text{ а } \Delta P = \frac{G^2}{10k_v^2}. \quad (9)$$

Допустимую максимальную скорость движения воды в трубопроводах внутренних водопроводных сетях (как и для систем отопления) и в запорно-регулирующей арматуре зданий определяют, исходя из нормативно-допустимого эквивалентного уровня шума в помещении. Максимальная скорость движения составляет для: стальных труб – 1,5; пластиковых труб (способных уменьшать шум и гасить гидравлические удары) рекомендуется: в стояках – до 2,5, а в распределительных трубопроводах – до 2,0; медных (из условия сохранения защитной оксидной пленки на внутренней поверхности трубы) до 1,0 м/с [4]. Однако заметим, что авторам не удалось найти опытное подтверждение приведенных выше рекомендованных скоростей движения воды в трубопроводах внутренних водопроводных сетей.

Разнообразие современных материалов для изготовления труб и фирм-производителей их не может быть охвачено вышеупомянутыми границами. Как правило, производители задают эти значения в характеристиках (каталогах) или справочниках, которыми следует пользоваться в каждом конкретном случае. Это касается и диаметров труб, где при одинаковых условных диаметрах площадь живого сечения может отличаться до 60 % [4, табл. 7].

Значение коэффициентов местных сопротивлений также следует принимать только по каталогам фирм-производителей данного вида оборудования. Расхождения в одинаковых по назначению (названию), но изготовленных разными производителями фитингов (фасонных частей) может составлять порядок и даже учитываться с противоположным знаком («плюсом» или «минусом»).

Действующим нормативным документом, регламентирующим проектирование внутренних водопроводных сетей, является СНиП 2.04.01–85\* «Внутренний водопровод и канализация зданий» [3]. Принятые изменения 1 и 2 к нему открыли возможность применения во внутренних системах горячего и холодного водоснабжения зданий труб из полимерных материалов. Этот же документ определяет, что при гидравлическом расчете системы холодного водоснабжения потери напора на местные сопротивления принимаются в долях от потерь напора по длине трубопровода ([3], раздел «Расчёт водопроводной сети холодной воды», п. 7.7). Но одновременно выделяет из общего числа местных сопротивлений системы внутреннего водопровода счётчик воды ([3], раздел 11 «Устройства для измерения количества и расхода воды»), потери напора в котором рекомендуется определять через его гидравлический модуль или гидравлическое сопротивление  $S$  ([3], п. 11.4 и табл. 4). Практика проектирования внутренних трубопроводов систем, как холодного, так и горячего водоснабжения, определяемая техническими условиями эксплуатирующих эти сети организаций, предусматривает использование в составе квартирного водомерного узла обязательных элементов: фильтра грубой очистки воды и обратного клапана. Однако об индивидуальном учёте этих местных сопротивлений при гидравлическом расчете внутренней водопроводной сети в нормативном документе [3] отсутствуют однозначные указания.

Обратные клапаны предназначены для предотвращения движения в обратном направлении перемещаемой среды (в данном случае воды).

Обратные клапаны подразделяются по:

- материалу корпуса;
- типу и материалу запорной системы;
- параметрам перемещаемой среды;
- способу соединения с трубопроводом (резьбовое, фланцевое и межфланцевое, а также сваркой встык и в паз).

Сетчатые фильтры устанавливаются перед регулирующей арматурой, расходомерами, насосами, редукторами и другими устройствами для защиты от любых загрязнений трубопроводных систем.

Гидравлическое сопротивление указанных местных сопротивлений (открытых обратных клапанов и чистых сетчатых фильтров) может быть рассчитано по формуле:

$$\Delta P^* = \left( \frac{Q}{K_v} \right)^2, \quad (10)$$

где  $Q$  – расчётный расход воды, проходящей через открытый обратный клапан или чистый сетчатый фильтр,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$K_v$  – условная пропускная способность полностью открытого обратного клапана или чистого сетчатого фильтра,  $(\text{м}^3/\text{час})/\text{бар}^{0,5}$ , указываемая производителями в таблицах технических описаний указанных местных сопротивлений [5, 6].

В табл. 1, в качестве примера, приведены технические данные обратных клапанов (тип 601 системы 01) и сетчатых фильтров (тип Y 222/ Y222 P) фирмы Danfoss [5].

**Таблица 1 – Технические данные муфтовых обратных клапанов (тип 601 системы 01), сетчатых фильтров (тип Y 222/ Y222 P) фильтрация 500 микрон [5] и счётчиков воды [3]**

Местное сопротивление	DN, дюймы	Масса, г	$K_v, (\text{м}^3/\text{час})/\text{бар}^{0,5}$	$\xi$	$S, M \text{вод. ст.}/(\text{м}^3/\text{час})^2$
Фильтр сетчатый [5, с. 121...122]	$\frac{1}{2}$	185	2,70	10,33	$(137 \cdot 10^{-2})$
	$\frac{3}{4}$	370	5,10	9,50	$(384 \cdot 10^{-3})$
	1	540	11,3	7,50	$(783 \cdot 10^{-4})$
	$1\frac{1}{4}$	874	17,20	5,50	$(338 \cdot 10^{-4})$
	$1\frac{1}{2}$	990	23,00	7,50	$(189 \cdot 10^{-4})$
	2	1290	46,80	4,50	$(457 \cdot 10^{-5})$
Клапан обратный [5, с. 83...85]	$\frac{3}{8}$	60	3,2	1,63	$(977 \cdot 10^{-3})$
	$\frac{1}{2}$	90	4,4	4,10	$(517 \cdot 10^{-3})$
	$\frac{3}{4}$	100	6,7	5,6	$(223 \cdot 10^{-3})$
	1	150	11,9	4,3	$(706 \cdot 10^{-4})$
	$1\frac{1}{4}$	275	17,4	5,4	$(330 \cdot 10^{-4})$
	$1\frac{1}{2}$	315	29,0	4,80	$(119 \cdot 10^{-4})$
Счётчик воды [3, табл. 4]	2	490	46,5	4,50	$(462 \cdot 10^{-4})$
	$\frac{1}{2}$	–	(3,0)	(8,81)	1,11
	$\frac{3}{4}$	–	(5,0)	(10,03)	0,4
	1	–	(7,0)	(12,49)	0,204
	$1\frac{1}{4}$	–	(10,0)	(16,43)	0,1
	$1\frac{1}{2}$	–	(16,01)	(15,65)	0,039
	2	–	(30,15)	(10,77)	0,011

**Примечание.**

1. Величины, указанные в скобках ( ), получены расчёты путём.
2. Расчёт величины гидравлического модуля ( $S$ ) сетчатого фильтра и обратного клапана по известному значению  $k_v$  произведен по уравнению (9).
3. Значение диаметра труб ( $G \frac{1}{2}; \frac{3}{4}; 1; 1\frac{1}{4}; 1\frac{1}{2}$  и  $2^{\text{!}}$ ) приняты соответственно равными 15; 20; 25; 32; 40 и 50 мм.
4. Расчёт коэффициента местного сопротивления  $\xi$  счётчика воды по известному значению  $k_v$  произведен по уравнению (4), которое после преобразований и с учётом единиц измерения ( $d, \text{мм}$ ) имеет вид  $\xi = \frac{156,7 \cdot 10^{-5} \cdot d^4}{k_v^2}$ .

Из данных таблицы видно, что все три вида рассматриваемых местных сопротивлений имеют близкие значения гидравлических характеристик. Наибольшие значения величин потерь напора (при одинаковых диаметрах труб) можно наблюдать в сетчатых фильтрах. При этом следует отметить, что указанная величина потерь напора в сетчатых фильтрах в справочной литературе указана для чистых фильтров. В процессе эксплуатации внутренних водопроводных сетей здания величина потерь напора в сетчатых фильтрах увеличивается по мере загрязнения фильтра. Можно предположить с большой долей вероятности, что величина потерь напора в них зависит: от материала труб, срока службы системы водоснабжения, графика подачи воды, размера ячеек фильтрующего полотна и т. д.

#### **Выводы.**

1. Все три вида рассмотренных местных сопротивлений (счётчик воды, сетчатый фильтр и обратный клапан) имеют близкие значения величин основных гидравлических характеристик: условную пропускную способность местного сопротивления,  $K_v$  ( $\text{м}^3/\text{час}/\text{бар}^{0.5}$ ), коэффициент местного сопротивления  $\xi$  и модуль местного сопротивления  $S$ ,  $\text{M вод. ст.}/(\text{м}^3/\text{час})^2$  или  $\text{M вод. ст.}/(\text{л}/\text{с})^2$ .

2. По величине коэффициента местного сопротивления  $\xi$  (в порядке убывания) указанные три вида местных сопротивлений располагаются в следующей последовательности: сетчатый фильтр — счётчик воды — обратный клапан.

3. При расчёте внутренних водопроводных сетей здания потери напора должны учитываться в каждом местном сопротивлении (счётчик воды, сетчатый фильтр и обратный клапан), а не только в счётчике воды, как рекомендует действующий СНиП 2.04.01—85\*.

4. Для взаимного использования (в отечественной и зарубежной практике) считаем целесообразным указывать в справочной и нормативной литературе для всех видов местных сопротивлений основные гидравлические характеристики: условную пропускную способность местного сопротивления,  $K_v$  ( $\text{м}^3/\text{час}/\text{бар}^{0.5}$ ); коэффициент местного сопротивления  $\xi$  и модуль местного сопротивления  $S$ ,  $\text{M вод. ст.}/(\text{м}^3/\text{час})^2$  или  $\text{M вод. ст.}/(\text{л}/\text{с})^2$ .

5. При расчёте потери напора во всех местных сопротивлений внутренних водопроводных сетей здания следует использовать одну из трёх основных гидравлических характеристик, что позволит упростить его.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гидравлические расчёты систем водоснабжения и водоотведения : [справочник] / под общ. ред. А. М. Курганова : [3-е изд., перераб. и доп.]. — Л. : Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. — 440 с. : ил.
2. Большаков В. А. Справочник по гидравлике / Большаков В. А. и др. — К. : Вища школа, 1984. — 343 с.
3. Внутренний водопровод и канализация зданий : СНиП 2.04.01—85\*. — [Действует от 1986—07—01]. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 56 с.
4. Пырков В. В. Особенности современных систем водяного отопления / Пырков В. В. — К. : изд-во «Такі справи», 2003. — 176 с.: ил. — ISBN 966—96222—7—1.
5. Каталог трубопроводной арматуры фирм Socla, Ogeq, Esco. Данфосс : 2005. — 152 с.
6. Каталог трубопроводной арматуры фирмы «ГЕРЦ Арматурен Г. м. б. Х»: 2007. — 84 с.

Получено 24.09.2010

С. В. КОВТУН, Д. В. ЗАВОРОТНИЙ  
ДО ПИТАННЯ УРАХУВАННЯ ДЕЯКОГО МІСЦЕВОГО ОПОРУ ПРИ РОЗРАХУНКУ ВНУТРІШНЬОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ БУДІВЕЛЬ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто питання гідравлічного розрахунку внутрішньої водопровідної мережі будівель, зокрема визначення та обрахунку місцевого опору мережі, таких як лічильник води, фільтр сітчастий, зворотній клапан, що належать до складу квартирного водолічильного вузла. Обґрунтована потреба урахування місцевого гідравлічного опору не тільки лічильника води, а також фільтра сітчастого та зворотного клапана.

**внутрішня водопровідна мережа будівель, витрати тиску, місцеві опори, лічильник води, фільтр сітчастий, зворотній клапан**

S. V. KOVTUN, D. V. ZAVOROTNIY

METERING OF LOCAL IMPEDANCE AT HYDRAULIC CALCULATION OF INNER  
WATER SUPPLY NETWORK OF BUILDING

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper deals with the problems of hydraulic calculation of the inner water supply network of a building, in particular, the determination and metering of local network impedance such as a water meter, a screen filter, a non-return valve consisting an apartment water metering post. The need for metering at the hydraulic calculation of necessary head not only for local impedance of a water metering but also of a screen filter and a non-return valve has been valid in the paper.

**inner water supply system of a building, head loss, local impedance, water meter, screen filter, non-return valve**

**Ковтун Сергій Володимирович** — кандидат технических наук, доцент кафедри «Міське будівництво та господарство» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: організації та експлуатації міського комунального господарства, внутрішні інженерні мережі споруд, зовнішні мережі водопостачання та водовідведення, технологія очищення питної та стічної води.

**Заворотний Дмитро Вікторович** — асистент кафедри «Водопостачання, водовідведення та охорона водних ресурсів» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимізація розрахунків та улаштування систем транспортування рідин.

**Ковтун Сергей Владимирович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: организация и эксплуатация городского коммунального хозяйства, внутренние инженерные сети зданий, внешние сети водоснабжения и водоотведения, технология очистки питьевой и сточной воды.

**Заворотный Дмитрий Викторович** — ассистент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимизация расчетов и устройства систем транспортировки жидкостей.

**Kovtun Sergey Vladimirovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Municipal Civil Engineering and Economy Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: organization and exploitation of municipal communal economy, inner engineering networks of a building, external networks of water supply and sewage and storm water disposal, procedures and techniques of drinkable and sewage water treatment.

**Zavorotniy Dmitry Victorovich** — a teaching fellow of the Water Supply, Sewage and Storm Water Disposal and Water Conservation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: optimization of designs and systems for transportation of liquids.

УДК 624.014.2.059

**С. Б. ПЧЕЛЬНИКОВ, А. Я. ФОМЕНКО**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В статье рассмотрены принципы оценки технического состояния строительных конструкций. Описаны основные методы получения первичной (исходной) информации для использования при оценке технического состояния. Приведены основные типы дефектов и повреждений, обнаруживаемых данными методами. Проанализированы достоинства и недостатки этих методов, их применимость в процессе обследований в настоящее время. Предложено обратить внимание на использование вероятностного подхода в процессе оценки технического состояния строительных конструкций.  
**оценка технического состояния, разрушающий и неразрушающий контроль, дефекты, повреждения, метод предельных состояний, вероятностные методы**

На данном этапе развития строительного производства, когда большинство основных фондов крупных промышленных предприятий находятся в аварийном или изношенном состоянии, остро стоит проблема оценки их технического состояния и прогнозирования работы отдельных конструкций в частности, в т. ч. конструкций оборудования и здания (сооружения) в целом. Особенно это касается нашего региона, т. к. на Донбассе сосредоточено большое число крупных промышленных предприятий, построенных ещё в 60–70-х годах XX в. Нормативный срок эксплуатации таких зданий и сооружений подходит к концу, поэтому актуальной становится техническая диагностика этих зданий и выявление резерва прочности конструкций. При этом производится оценка их технического состояния и определяется возможность дальнейшей эксплуатации.

**Основные принципы оценки технического состояния.** Оценка технического состояния требуется при проведении плановых осмотров и ремонтов здания, при изменении технологического процесса, при неудовлетворительном состоянии конструкций, при физическом и моральном их износе. Оценка технического состояния строительных конструкций заключается в проверке соответствия фактических параметров этих конструкций требованиям, предъявляемым нормативными документами и (или) технологическим процессом. Оценка технического состояния зданий включает в себя визуальный и инструментальный контроль этих параметров. По результатам контроля уточняются нагрузки и производится проверочный расчёт. Результаты проверочного расчёта сравниваются с допустимыми значениями, указанными в нормативной документации, действующей на момент контроля. В настоящее время такие расчеты приведены в действующих нормативных документах [7] и основываются на методе предельных состояний (МПС) (частных коэффициентов надёжности), в которых соответствие конструкции (элемента) предъявляемым требованиям производится оценкой напряжений и деформаций в элементах. Вторым вариантом определения состояния конструкций является оценка их надёжности. В данный момент этот подход представлен в [1], но пока лишь в качестве рекомендательной методики. В данном подходе оценивается вероятность безотказной работы конструкций или здания в целом, коэффициент безотказности и другие параметры [5]. Для использования любого из этих подходов требуются определённые исходные данные, полученные в результате натурного контроля, такие как размеры элементов и конструкций, положение в пространстве, условия закрепления конструкций и их элементов, свойства материалов [1].

Целью данной статьи является классификация методов контроля технического состояния строительных конструкций и оценка возможности использования показателей, полученных при использовании данных методов, для оценки показателей надежности строительных конструкций.

**Классификация методов оценки технического состояния.** В настоящее время в Украине самым распространённым методом является визуально-инструментальный, но также применяются методы разрушающего и неразрушающего контроля. Более детально классификация методов оценки технического состояния представлена на рис. 1.

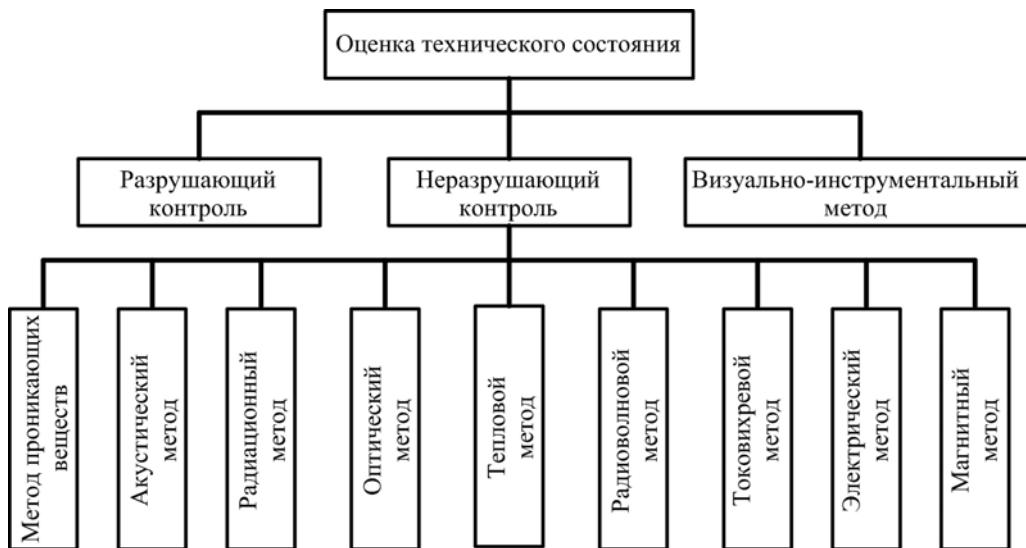


Рисунок 1 – Классификация методов оценки технического состояния.

**Визуально-инструментальный метод** оценки технического состояния зданий, сооружений и их элементов является самым простым и технологически несложным. Основными приборами и приспособлениями, используемыми при этом методе, являются мерные ленты, рулетки, линейки, штангенциркули, отвесы, уровни, градуированные лупы и мерные микроскопы для выявления и измерения трещин, фотоаппараты и др. В результате визуально-инструментального метода контроля можно обнаружить основные внешние повреждения конструкций, несоответствия проектной документации, отсутствие или локальные повреждения элементов отдельных конструкций. В результате анализа и обработки результатов обследования можно дать первоначальную оценку состояния здания и предварительно выполнить проверочные расчёты. Достоинством данного метода является его относительная простота и доступность использования. Основным недостатком визуально-инструментального обследования является то, что результаты обследования напрямую зависят от квалификации инженера-обследователя и от субъективных причин, которые влияют на него в данный момент времени.

**Неразрушающий контроль** подразумевает контроль свойств и параметров объекта, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к использованию и эксплуатации [3].

Методы неразрушающего контроля можно классифицировать по следующим признакам [2; 3]:

- характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом;
- способам получения первичной информации.

По техническому исполнению средства неразрушающих методов контроля делятся на три группы [3]:

- 1) автономные приборы для контроля одной или нескольких взаимосвязанных качественных характеристик;
- 2) комплексные системы, автоматические линии и роботы-контролёры, предназначенные для определения ряда основных параметров, характеризующих качество объектов;
- 3) системы неразрушающих методов контроля для автоматического управления технологическими процессами по качественным признакам.

Существует девять видов неразрушающего контроля [2; 3]: 1) магнитный; 2) электрический; 3) токовихревой; 4) радиоволновой; 5) тепловой; 6) оптический; 7) радиационный; 8) акустический; 9) метод контроля проникающими веществами. Далее рассмотрим принцип работы, достоинства, недостатки, реализацию и возможности применения некоторых методов.

**Магнитный метод неразрушающего контроля (МНК).** Этот метод основан на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом. Применяется только для контроля деталей и изделий, изготовленных из ферромагнитных материалов, находящихся в ненамагнченном состоянии, поверхность должна быть очищена от грязи, коррозии и др. С помощью МНК контролируются металлические изделия, полуфабрикаты и сварные соединения. Типы обнаруживаемых дефектов — поверхностные и подповерхностные (на глубине 2–3 мм) трещины, волосовины, заковы, включения, флокены, непровары. К достоинствам МНК можно отнести простоту применения, наглядность контроля, возможность применения для изделий любой формы. К недостаткам данного метода можно отнести необходимость размагничивания изделий после контроля и возможность образования прижогов после контроля. МНК целесообразно применять для оценки повреждений отдельных элементов и конструкций. Одним из приборов, в котором реализован МНК, является магнитный толщиномер покрытий ТМ–20МГ4. Данный прибор контролирует лакокрасочные, гальванические (хромоникелевые, цинковые, кадмиеевые), огнезащитные покрытия.

**Радиационный метод.** Основан на взаимодействии проникающего ионизирующего излучения с объектом обследования. Применяют при контроле соединений и изделий. Для сварных и резьбовых соединений определяют непровары, трещины, поры, шлаковые включения. Для различных элементов и конструкций определяют трещины, раковины, рыхлости, пористость. Основными требованиями к объектам контроля является двухсторонний доступ и отсутствие наружных дефектов, превышающих чувствительность прибора. Достоинством метода является высокая чувствительность прибора, наглядность результатов контроля. У данного метода достаточно много недостатков: 1) радиационная опасность; 2) большая длительность технологического процесса; 3) расход дорогостоящей радиографической пленки.

**Метод проникающими веществами.** Данный метод основан на явлении капиллярного проникновения хорошо смачивающих пробных веществ (жидкости) в полость дефектов объема контроля. Его делят на методы капиллярные и течеискания. Данный метод получил свое применение в обследовании ёмкостей (например, резервуаров).

**Капиллярный метод** основан на капиллярном проникновении в полость дефекта индикаторной жидкости, хорошо смачивающей материал объекта (керосина, скипидара и др.). Применяется при контроле металлических изделий, полуфабрикатов и сварных соединений. Рационально использование при обнаружении поверхности открытых трещин, пор, коррозионных поражений. Требования к дефектам: 1) раскрытие дефекта  $\geq 1$  мкм; 2) протяженность  $\geq 3$ –5 мм. К достоинствам данного метода можно отнести простоту и наглядность контроля, возможность контроля изделий различной формы. Недостатки капиллярного метода — необходимость удаления с поверхности защитных покрытий, смазок и других загрязнений.

**Метод течеискания** используют для выявления только сквозных дефектов в перегородках. В полость дефекта пробное вещество проникает либо под действием разности давлений, либо под действием капиллярных сил, однако в последнем случае нанесение и индикацию пробных веществ выполняют по разные стороны перегородки. Метод требует значительных временных затрат на пропитку и проявление индикаторной жидкости, что приводит к снижению производительности контроля и сложности его автоматизации.

**Акустический метод неразрушающего контроля** основан на регистрации параметров упругих волн, возникающих или возбуждаемых в объекте. Чаще всего используют упругие волны ультразвукового диапазона (с частотой колебаний выше 20 кГц). Этот метод также называют ультразвуковым. Главная отличительная особенность данного метода состоит в том, что в нем применяют и регистрируют не электромагнитные, а упругие волны, параметры которых тесно связаны с такими свойствами материалов, как упругость, плотность, анизотропия (неравномерность свойств по различным направлениям) и др. Данный метод применяется при контроле листового проката, труб диаметром больше 4 мм, сварных соединений (стыковых, тавровых, угловых). Акустическим методом возможно обнаружить внутреннее расслоение и другие дефекты, ориентированные в плоскости проката, внутренние поверхностные трещины, закаты, включения и другие дефекты. Поверхность образцов должна быть очищена от грязи и коррозии. К достоинствам данного метода можно отнести высокую производительность и малую стоимость. Недостатком является большая погрешность при определении размеров и форм дефектов. Использование метода получило широкое применение при контроле трубопроводов, нефте- и газопроводов. Метод также достаточно эффективен при контроле отдельных элементов строительных конструкций.

**Оптический метод неразрушающего контроля.** Основан на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом контроля. К числу обнаруживаемых им дефектов и повреждений относятся: пустоты (нарушения сплошности), расслоения, поры, трещины, включения инородных тел, внутренние напряжения, изменения структуры материалов и их физико-химических свойств, отклонения от заданной геометрической формы. Недостатком данного метода является то, что выявление дефектов возможно только в изделиях из материалов, прозрачных в оптической области спектра. Основное применение получил при контроле габаритов строительных конструкций, позволяет с большой точностью определить геометрические размеры элементов, конструкций, зданий или сооружений. Метод был реализован в ряде приборов, таких как лазерные рулетки, тахеометры, лазерные нивелиры и др.

**Тепловой метод неразрушающего контроля.** Основан на использовании тепловой энергии, распространяющейся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов (скрытые раковины, полости, трещины, непровары, инородные включения и т. д.). Различают два вида теплового метода:

- пассивный — анализ тепловых полей изделия производится регистрацией их собственного теплового излучения;
- активный — предполагает нагрев объекта внешними источниками.

Метод получил применение при обнаружении утечек тепла в здании, тепловизионном контроле качества кровли, ограждающих конструкций. Достоинством метода является простота использования и обработки результатов, наглядность полученных данных, мобильность оборудования. Основным недостатком можно назвать большую стоимость оборудования. Метод позволяет выявлять зоны перегрева, пожароопасных зон, мест утечек тепла в зданиях, на теплотрассах, при разрывах подземных трубопроводов и др.

**Токовихревой метод неразрушающего контроля** основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля прибора с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте. В этом методе используется эффект воздействия вихревых токов, возбуждаемых в проводящем образце, на электрические параметры преобразователя. Его применяют только для контроля изделий из электропроводящих материалов. Сфера использования токовихревого метода — диагностика металлических изделий и полуфабрикатов. С помощью этого метода обнаруживают поверхностные и подповерхностные (на глубине 2–3 мм) трещины, волосовины, заковы, закаты, включения, флокены, непровары. К достоинствам можно отнести бесконтактное возбуждение вихревых токов, возможность контроля внутренних поверхностей и контроля через неметаллические покрытия. Главным недостатком токовихревого метода является трудность выделения полезного сигнала на фоне помех, обусловленных его зависимостью от многих параметров контролируемого изделия. При использовании данного метода применяют прибор ВДП–5,2. Применяется он для углеродистых сталей широкого класса, позволяет обнаружить и оценить размеры поверхностных несплошностей и трещин элементов строительных конструкций.

Диагностика зданий, сооружений и элементов конструкций неразрушающими методами контроля проводятся непосредственно в условиях эксплуатации и не требует никаких мер по предварительному усилинию, смене расчётной схемы и других мероприятиях. Это позволяет оценить состояние конструкций, узлов, сварных соединений непосредственно в процессе обследования и почти сразу дать предварительное заключение о состоянии здания или сооружения. Несмотря на все положительные качества неразрушающего контроля, существует ряд недостатков, общих для всех методов:

- качество результатов напрямую зависит от квалификации дефектоскописта и характеристик прибора;
- узкая возможность определения разного вида повреждений одним методом;
- ограничение возможности использования некоторых приборов, связанное с их размерами и тяжелым технологическим процессом измерений;
- ряд методов предусматривает только лабораторные испытания и не реализуемы для натурных условий.

С появлением мощных мобильных ПК стало возможно применение комплексных систем неразрушающих методов контроля. Применение таких систем связано с частой необходимостью диагностирования двумя или более методами: обычно сочетают методы, способные обнаруживать внутренние и поверхностные повреждения (акустический и магнитный контроль; магнитопорошковый метод контроля, акустический и токовихревой контроль и т. д.) или плоские и объёмные дефекты

(например, ультразвуковой контроль и радиография). Но применение неразрушающих методов контроля не всегда может дать полноценную картину состояния материала конструкций, поэтому иногда приходится использовать разрушающие методы контроля.

**Разрушающий контроль** подразумевает контроль свойств и параметров объекта, при котором нарушается целостность объекта [2].

Разрушающие методы контроля нехарактерны для металлических конструкций, но часто применяются в железобетонных конструкциях. В металлоконструкциях их применяют только в случаях, когда требуется уточнить физико-химические свойства материала, такие как прочность, пластичность, класс стали, свариваемость и др. Производится путём выреза образцов из конструкции в самой ненагруженной части, в это же время должно быть проведено усиление ослабленного сечения. Достоинством разрушающего метода контроля является максимальное точное определение характеристик материала, но наряду с этим существует целый ряд недостатков:

- ослабление поперечного сечения конструкций;
- большая трудоёмкость получения образцов;
- длительность получения результатов обследования;
- возможность получения результатов только в лабораторных условиях.

Полученные в результате использования данных методов различные показатели могут быть использованы при оценке технического состояния конструкций как на основании подхода с использованием метода предельных состояний, так и с использованием вероятностного подхода для определения показателей надежности конструкций. Основное отличие этих двух подходов состоит в том, что если при использовании метода предельных состояний количество контролируемых параметров и точек контроля ограничивается необходимой точностью, то при использовании вероятностного подхода полученная картина может оказаться недостаточно полной, т. е. полученных данных может не хватить для оценки статистических характеристик контролируемых показателей, что в итоге скажется на точности определения показателей надежности. Тем не менее, поскольку в настоящее время в ДБН В.1.2-2-2006 «Нагрузки и воздействия» уже реализован вероятностный подход к определению нагрузок на конструкции, а также возможно использование вероятностных методов в процессе проектирования конструкций, то также необходимо рассматривать возможность применения вероятностного подхода при оценке технического состояния строительных конструкций с использованием соответствующих инженерных методик.

#### **Выводы:**

1. В настоящее время основным подходом к оценке технического состояния строительных конструкций является метод предельных состояний. Параллельно развивается вероятностный подход, который пока в нормативной документации представлен только в рекомендательном виде.

2. Для оценки технического состояния строительных конструкций используются разрушающие и неразрушающие методы контроля. Наиболее распространённым в настоящее время при оценке технического состояния строительных конструкций является визуально-инструментальный метод контроля.

3. Параметры конструкций, полученных данными методами, являются исходными для оценки состояния конструкций и с позиций метода предельных состояний, и с точки зрения вероятностного расчета.

4. Учитывая направленность новых нормативных документов на использование вероятностного подхода при расчете строительных конструкций (например, ДБН В.1.2-2-2006 «Нагрузки и воздействия»), представляется целесообразным при оценке технического состояния строительных конструкций и зданий наряду с официально используемым подходом с использованием положений метода предельных состояний развивать и вероятностный подход к оценке технического состояния строительных конструкций.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2–14–2009. – [Чинний від 2009–12–01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 30 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Сварные строительные конструкции: справ. изд. в 3-х т. / Под ред. Лобанова Л.М. – Т. 3: Арматура и закладные детали. Конструкции из пластмасс. Реконструкция и оптимизация. Контроль качества. Охрана труда. – К. : ИЭМ им. Е. О. Патона, 2003. – 378 с.
3. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник/ В.В. Клюев, Ф.Р. Сосин, А.В. Ковалёв [и др.]; Под ред. В.В. Клюева. – [3-е изд., испр. и доп.]. – М. : Машиностроение, 2005. – 656 с. : ил.

4. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації : ДБН 362–92. – [Чинний від 1992–07–01]. – К. : Державний комітет України в справах архітектури, будівництва та охорони історичного середовища, 1995. – 47 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Пичугин С.Ф. Надіжність строительных конструкций производственных зданий: монография / Пичугин С.Ф. – Полтава : ООО «АСМИ», 2009. – 452 с.
6. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд : ДБН В.3.1–1–2002. – [Чинний від 2003–07–01]. – К. : Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2003. – 82 с. – (Державні будівельні норми України).
7. Стальные конструкции : СНиП II–23–81\*. – [Чинний від 1981–08–14]. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 96 с. – (Строительные нормы и правила).

Получено 07.10.2010

С. Б. ПЧЕЛЬНИКОВ, А. Я. ФОМЕНКО  
ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглянуті принципи оцінки технічного стану будівельних конструкцій. Описані основні методи одержання первинної (вхідної) інформації для використання при оцінці технічного стану. Наведені основні типи дефектів і пошкоджень, що виявляються даними методами. Проаналізовані переваги і недоліки цих методів, їх застосовність у процесі обстежень у цей час. Запропоновано звернути увагу на використання імовірнісного підходу в процесі оцінки технічного стану будівельних конструкцій.

**оцінка технічного стану, руйнівний і неруйнівний контроль, дефекти, пошкодження, метод граничних станів, імовірнісні методи**

S. B. PCHELNIKOV, A. YA. FOMENKO  
TECHNICAL STATE ESTIMATION OF BUILDING STRUCTURES  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The article deals with the concepts of the technical state estimation of building structures. The fundamental methods of primary (initial) information obtaining for application at the technical state estimation have outlined. The main types of defects and damages revealed by the methods have been cited. The advantages and drawbacks of the methods, their suitability during the present-day surveys have been analysed. The probabilistic approach application have been taken into consideration during the technical state estimation process of building structures.

**technical state estimation, breaking and nondestructive control, defects, damages, limit state method, probabilistic methods**

**Пчельников Сергій Борисович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: забезпечення експлуатаційної надійності будівельних конструкцій, імовірнісні методи розрахунку будівельних конструкцій, планування експлуатаційного процесу будівель і споруд.

**Фоменко Антон Якович** — магістрант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: забезпечення експлуатаційної надійності будівельних конструкцій.

**Пчельников Сергей Борисович** — кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: обеспечение эксплуатационной надежности строительных конструкций; вероятностные методы расчета строительных конструкций; планирование эксплуатационного процесса зданий и сооружений.

**Фоменко Антон Яковлевич** — магистрант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: обеспечение эксплуатационной надежности строительных конструкций.

**Pchelnikov Sergey Borisovich** — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: assurance of operational reliability of building structures, operational process planning of building and constructions.

**Fomenko Anton Yakovlevich** — a MPhil in Engineering of the Steel Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: assurance of operational reliability of building structures.

УДК 628.543

**В. Л. ФИЛИПЧУК**

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА**

Наведена математична модель оборотної системи водопостачання підприємства, яка включає виробництво, резервуари для накопичення та усереднення стічних вод, очисні споруди, що складаються з блоків вилучення нерозчинних та розчинних домішок. Проаналізовано вплив технологічних параметрів споруд системи на ступінь накопичення домішок в оборотній воді.

**математична модель, замкнuta система водопостачання, важкі метали, розчинні домішки, накопичення солей, очищення стічної води**

**Створення замкнтих систем** водного господарства підприємств є пріоритетним напрямком охорони навколошнього середовища. Замкнти системи дозволяють значно знизити витрати на виробничє споживання чистої води, запобігти скиду очищених стоків у навколошнє природне середовище, перейти до маловідходних, ресурсо- та енергозберігаючих технологій на промислових підприємствах.

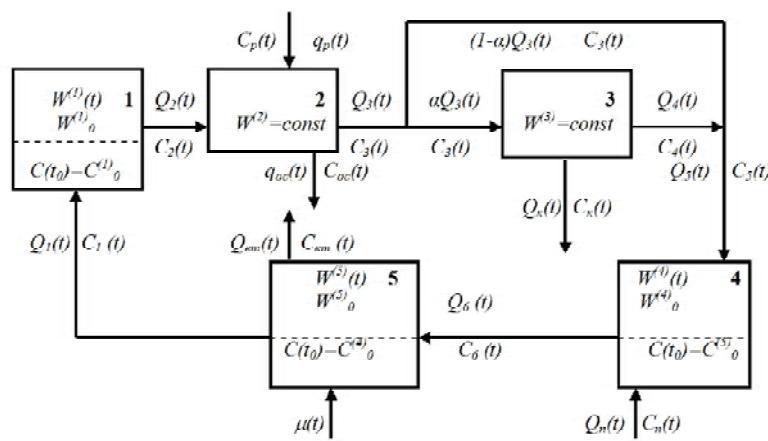
**Важливою складовою** частиною створення замкнтих систем водопостачання є розробка прогнозних моделей з метою вибору раціональних параметрів роботи системи. На підставі цих моделей можна визначити концентрацію домішок у будь-якій точці системи, оцінити величину її підживлення, підібрати оптимальні розміри споруд та умови їх функціонування.

Однак у відомих математичних моделях замкнтих та оборотних систем не враховано ряд технологічних параметрів, деякі моделі мають сугубо теоретичний характер, що не дозволяє підібрати оптимальні умови функціонування реальної системи. Зокрема, у найбільш відомих моделях не враховано введення у систему різних домішок разом з реагентами, можливість скиду в систему відпрацьованих розчинів, наявність домішок з різними хімічними властивостями, залежність накопичення домішок в оборотній воді від кількості оборотних циклів та ін. [1–5]. Така обмеженість відомих моделей значно звужує можливість їх практичного застосування, а в ряді випадків може навіть привести до неточних висновків при розрахунках.

**Метою** даної роботи є розробка математичної моделі замкнтої системи водопостачання підприємства, яка дозволяє визначити параметри її роботи та основні технологічні характеристики споруд, проаналізувати вплив різних факторів на накопичення домішок в оборотній воді, розрахувати оптимальні величини підживлення замкнтої системи.

**Математична модель** побудована на основі формалізованої схеми замкнтої системи водопостачання, яка складається із послідовно з'єднаних між собою комунікаційною мережею основних блоків (рис. 1). Оскільки трубопроводи мають невеликий об'єм відносно об'ємів блоків, то передбачається відсутність зміни параметрів стічної води в комунікаціях сусідніх блоків. Для математичного описування функціонування технологічної системи введемо такі позначення:  $W$  – об'єм споруди,  $C$  – концентрація деякого домішку,  $Q(q)$  – витрата води або розчину,  $m$  – маса домішку,  $t$  – момент часу. Вважається, що у стічній воді присутні два види забруднюючих домішок: важкі метали та інші домішки, які можна осаджувати у вигляді осаду малорозчинних сполук, а також катіони й аніони сильних кислот та основ, що визначають мінералізацію оборотної води. Мінеральні солі не осаджуються у вигляді малорозчинних сполук, а тільки концентруються у малому об'ємі стічної води.

Формалізація роботи оборотної системи водопостачання передбачає наступне. В накопичувач-усереднювач (1) поступає вихідна стічна вода з витратою ( $Q_1$ ) і концентрацією домішок ( $C_1$ ), які можуть коливатись у часі. Передбачається, що в блоці (1) в початковий момент часу ( $t_0$ ) знаходиться деякий об'єм стічної води ( $W'_0$ ) з концентрацією домішок ( $C'_0$ ).



**Рисунок 1** – Блокова схема замкнутої системи водопостачання підприємства: 1 – накопичувач-усереднювач стічних вод, 2 – блок очисних споруд для вилучення малорозчинних домішок, 3 – блок очисних споруд для демінералізації води, 4 – накопичувач-усереднювач очищених стічних вод, 5 – виробництво.

Далі стічна вода подається в блоки (2, 3) очисних споруд. В блок (2) очисних споруд дозуються розчини реагентів з витратою ( $q_p$ ) і концентрацією ( $C_p$ ) для вилучення домішок, в першу чергу важких металів, у вигляді малорозчинних сполук, які мають сталий добуток розчинності. Тому концентрація важких металів на виході з блоку (2) має постійну величину незалежно від їх концентрації на вході в блок (2). Витрата і концентрація реагентів можуть змінюватись в часі в залежності від концентрації важких металів. Із блоку (2) постійно відводяться важкі метали у вигляді осаду (шламу) з витратою ( $q_{oc}$ ) і концентрацією ( $C_{oc}$ ). Вилучення частини розчинних солей разом з осадом в цьому блокі визначається ступенем очищення, тому їх концентрація ( $C_3$ ) в стічній воді на виході з блоку (2) змінюється в залежності від їх концентрації ( $C_2$ ) на вході в блок (2).

Частина очищеної стічної води з витратою ( $\alpha Q_3$ ) з концентрацією домішки ( $C_3$ ) поступає в блок очисних споруд (3), де проводиться демінералізація води. При використанні іонного обміну на виході з блоку (3) концентрація мінеральних солей ( $C_4$ ) в очищений воді буде сталою і залежить від кількості ступенів знесолення. Концентрати солей з витратою ( $Q_\kappa$ ) і концентрацією ( $C_\kappa$ ) відводяться з цього блоку. Після змішування демінералізованої води з потоком байпасної неочищеної від мінеральних солей води з витратою ( $(1 - \alpha)Q_3$ ) суміш очищених стічних вод ( $Q_5$ ) направляється в накопичувач-усереднювач очищених стічних вод (4). З накопичувача (4) очищена вода забирається на виробничі потреби у виробництво (5) з витратою ( $Q_6$ ), яка коливається в часі в залежності від технологічного процесу споживання води, внаслідок чого об'єм води в накопичувачі (4) буде змінюватись. У накопичувач (4) також подається свіжа вода з витратою ( $Q_n$ ) і концентрацією домішки ( $C_n$ ) для підживлення оборотної системи з метою компенсації втрат оборотної води у виробництві та на очисних спорудах при відведені разом з осадом та концентратами з блоків (2, 3). У виробництві (5) відбувається забруднення оборотної води домішкою масою ( $\mu$ ), який може змінюватись у часі. Забруднена вода з витратою ( $Q_1$ ) і концентрацією домішки ( $C_1$ ) направляється в накопичувач-усереднювач стічних вод (1).

Передбачається, що блоки (1) і (4) працюють як реактори ідеального змішування, тобто концентрація домішки в цих спорудах дорівнює його концентрації у воді на виході з цього блоку [6]. Об'єм блоків (2, 3) очисних споруд прийнятий постійним. Також вважається, що подача та відведення стічних вод, реагентів, концентратів у всіх блоках системи проходить безперервно на протязі всього часу подачі вихідної стічної води в блок (1).

На підставі формалізації роботи технологічної системи очищення розглянемо математичні моделі цих блоків. Для цього використані рівняння матеріального балансу потоків води і мас домішок:

$$m^{(i)}(t) = C_i W^{(i)}(t). \quad (1)$$

В результаті математичну модель блоку (1) можна описати такими диференційними рівняннями першого порядку:

– зміна маси домішки:

$$\frac{dm^{(1)}}{dt} + \frac{m^{(1)}(t)}{W^{(1)}(t)} Q_2(t) = Q_1(t) C_1(t), \quad (1)$$

$$m^{(1)}(t_0) = m_0^{(1)}; \quad (2)$$

— зміна об'єму стічної води:

$$\frac{dW^{(1)}}{dt} = Q_1(t) - Q_2(t), \quad (3)$$

$$W^{(1)}(t_0) = W_0^{(1)}. \quad (4)$$

Для блоку (2) концентрація домішку ( $C_3$ ) на виході з очисних споруд:

$$C_3(t) = \frac{Q_2(t) C_2(t) + q_p(t) C_p(t) - q_{oc}(t) C_{oc}(t)}{Q_3(t)}. \quad (5)$$

Для блоку (3), приймаючи, що  $C_4$  є постійною величиною, витрату води на виході з нього можна записати:

$$Q_4(t) = \frac{\alpha Q_3(t) C_3(t) - Q_k(t) C_k(t)}{C_4(t)}. \quad (6)$$

На вході в блок (4) витрата води:

$$Q_5 = (1 - \alpha) Q_3 + Q_4. \quad (7)$$

Концентрація домішку на вході в блок (4):

$$C_5(t) = \frac{(1 - \alpha) Q_3(t) C_3(t) + Q_4(t) C_4(t)}{Q_5(t)}. \quad (8)$$

Для блоку 4:

— зміна маси домішки

$$\frac{dm^{(4)}}{dt} + \frac{m^{(4)}(t)}{W^{(4)}(t)} Q_6(t) = Q_n(t) C_n(t) + Q_5(t) C_5(t), \quad (9)$$

$$m^{(4)}(t_0) = m_0^{(4)}; \quad (10)$$

— зміна об'єму стічної води:

$$\frac{dW^{(4)}}{dt} = Q_n(t) + Q_5(t) - Q_6(t), \quad (11)$$

$$W^{(4)}(t_0) = W_0^{(4)}. \quad (12)$$

Розв'язок задачі Коші (11), (12) має вигляд [7]:

$$W^{(4)}(t) = W_0^{(4)} + \int_{t_0}^t [(Q_n(\tau) + Q_5(\tau) - Q_6(\tau))] d\tau. \quad (13)$$

Розв'язок задачі Коші для рівнянь (9) і (10) має вигляд:

$$m^{(4)}(t) = e^{-\int_{t_0}^t \frac{Q_6(\tau)}{W^{(4)}(\tau)} d\tau} \left\{ m_0^{(4)} + \int_{t_0}^t [Q_n(\tau) C_n(\tau) + Q_5(\tau) C_5(\tau)] e^{-\int_{t_0}^z \frac{Q_6(z)}{W^{(4)}(z)} dz} d\tau \right\}. \quad (14)$$

Знайшовши  $m^{(4)}(t)$  та використавши (13) можна визначити концентрацію домішки  $C_6(t)$  у стічній воді на виході з блоку (4):

$$C_6(t) = \frac{m^{(4)}(t)}{W^{(4)}(t)}. \quad (15)$$

Для блоку 5:

— зміна маси домішки

$$\frac{dm^{(5)}}{dt} + \frac{m^{(5)}(t)}{W^{(5)}(t)} [Q_1(t) + Q_{sm}(t)] = \mu(t) + Q_6(t)C_6(t), \quad (16)$$

$$m^{(5)}(t_0) = m_0^{(5)}. \quad (17)$$

— зміна об'єму стічної води

$$\frac{dW^{(5)}}{dt} = Q_6(t) - Q_{sm}(t) - Q_1(t), \quad (18)$$

$$W^{(5)}(t_0) = W_0^{(5)}. \quad (19)$$

Розв'язок задачі Коші (18), (19) має вигляд

$$W^{(5)}(t) = W_0^{(5)} + \int_{t_0}^t [Q_6(\tau) - Q_{sm}(\tau) - Q_1(\tau)] d\tau. \quad (20)$$

Розв'язок задачі Коші (16), (17) має вигляд

$$m^{(5)}(t) = e^{-\int_{t_0}^t \frac{Q_1(\tau) + Q_{sm}(\tau)}{W^{(5)}(\tau)} d\tau} \left\{ m_0^{(5)} + \int_{t_0}^t [\mu(\tau) + Q_6(\tau)C_6(\tau)] e^{-\int_{t_0}^{\tau} \frac{Q_1(z) + Q_{sm}(z)}{W^{(5)}(z)} dz} d\tau \right\}. \quad (21)$$

Знайшовши з (21)  $m^{(5)}(t)$  та використавши (20) можна визначити концентрацію домішку  $C_1(t)$  у стічній воді на виході з блоку (5):

$$C_1(t) = \frac{m^{(5)}(t)}{W^{(5)}(t)}. \quad (22)$$

Аналогічно можна записати задачу Коші безпосередньо для концентрації забруднень  $C_6(t)$  в блоці (4):

$$\frac{dC_6(t)}{dt} (W_0^{(4)} + \int_{t_0}^t [Q_n(\tau) + Q_5(\tau) - Q_6(\tau)] d\tau) = Q_n(t)[C_n(t) - C_6(t)] + Q_5(t)[C_5(t) - C_6(t)], \quad (23)$$

$$C_5(t_0) = C_5^{(0)}. \quad (24)$$

Для концентрації забруднень  $C_1(t)$  в блоці (5):

$$\frac{dC_1(t)}{dt} (W_0^{(5)} + \int_{t_0}^t [Q_6(\tau) - Q_{sm}(\tau) - Q_1(\tau)] d\tau) = Q_6(t)[C_6(t) - C_1(t)] + \mu(t), \quad (25)$$

$$C_1(t_0) = C_1^{(0)}. \quad (26)$$

На підставі наведеної математичної моделі з використанням програми «DELPHI» було розраховано накопичення забруднюючих речовин в оборотній воді на вході у виробництво в залежності від кількості оборотних циклів при зміні різних факторів. Як приклад, у якості забруднювача була прийнята наявність сульфатів, які вводяться на виробництві, реагентами та підживлювальною водою і обмежуються в оборотній воді.

Для кращого вивчення впливу різних факторів на накопичення забруднюючих речовин в оборотній воді умовно постійними приймалися: концентрація забруднювача, яка вводилась у воду на виробництві та його концентрація у підживлювальній воді; кількість осаду, що відводиться з очисних споруд; ступінь вилучення забруднювача на очисних спорудах. Змінними у часі приймались витрати оборотної води, що споживалась на виробництві. Ці величини були прийняті на основі експериментальних даних, отриманих на ПП «ОДА» Київського ДНВП «Електронмаш».

Аналіз розрахункових даних по впливу окремого фактора на ступінь накопичення забруднювача при умові постійних значень інших факторів показує наступне. Найбільш впливає на накопичення забруднюючої речовини в оборотній воді кількість такого забруднювача, який вноситься у воду на виробництві. При цьому зниження кількості внесеного забруднювача призводить до уповільнення його нарощання у оборотній воді з подальшим виходом на гранично допустиму концентрацію. Величина підживлення оборотної системи суттєво змінює характер накопичення домішок в оборотній

воді. Так, при відсутності у замкнutoї системі блоку (3) та її підживлення забруднювач в оборотній воді ( $C_6$ ) накопичується без ознаки його виходу на граничну допустиму концентрацію. При 10%-му підживленні за умови ( $C_n < C_5$ ) забруднювач досить швидко виходить на граничну концентрацію, при 30%-ій – практично нейтралізує вплив на накопичення внесення забруднювача на виробництві, а при 50%-ній навіть знижує його концентрацію в оборотній воді. Менший вплив на накопичення домішок в оборотній воді має концентрація забруднювача в підживлювальній воді. Навіть при підвищенні концентрації цього забруднювача в 3–5 разів його вміст в оборотній воді досить швидко виходить на граничну допустиму концентрацію.

Змінюючи величину підживлення, можна регулювати концентрацію лімітованого забруднювача в оборотній воді, а збільшуючи початковий об'єм води у регулюючій ємності перед виробництвом, можна значно уповільнювати темп накопичення забруднювача в оборотній воді. Знаючи концентрацію лімітованого домішку у підживлювальній воді ( $C_n$ ) та лімітовану концентрацію цього домішку для оборотної води у виробництві ( $C_6$ ) згідно з даною моделлю можна розрахувати граничну концентрацію його у воді ( $C_5$ ) на вході у блок (4) та продуктивність ( $\alpha Q_3$ ) і склад споруд блоку (3) для демінералізації оборотної води.

**Таким чином**, розроблена математична модель замкнutoї системи водопостачання підприємства надає можливість її практичного застосування для реального прогнозування зміни концентрації забруднюючих домішок в блоках системи в залежності від кількості оборотних циклів в умовах зміни витрат води, концентрацій домішок та інших параметрів, що дозволяє розрахувати оптимальні параметри роботи блоків замкнutoї системи, визначити необхідну величину підживлення і на цій основі мінімізувати матеріальні витрати на будівництво системи водного господарства підприємств. На основі запропонованої моделі подальшим напрямком досліджень є техніко-економічне порівняння двох варіантів роботи замкнutoих систем: з демінералізацією частини оборотної води та з демінералізацією всієї підживлювальної води.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алферова Л.А. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / Л.А. Алферова, А.П. Нечаев. – М. : Стройиздат, 1984. – 272 с.
2. Рогов В.М. Математическое моделирование замкнутых систем водного хозяйства предприятий / В.М. Рогов, В.С. Гарвацкий // Химия и технология воды. – 1989. – Вып. 11, № 3. – С. 216–222.
3. Способ расчета систем очистки и многократного использования сточных вод / В.Г. Крунчак, М.М. Крунчак, Ю.Д.Максименко [и др.] // Химия и технология воды. – 1981. – Вып. 3, № 6. – С. 542–545.
4. Иванов В.В. Математическая модель системы водооборота / В.В. Иванов, В.М. Рогов, Д.Н. Пластунов // Изв. вузов. стр-во и архитектура. – 1982. – № 9. – С. 116–120.
5. Математическое моделирование систем водоснабжения / [Л.А. Кульский, В.В. Иванов, В.В. Иванов [и др.]. – К. : Наукова думка, 1986.– 117 с.
6. Филипчук В.Л. Математична модель технологічної системи очищення стічних вод промислового підприємства / В.Л. Филипчук // Вісник НУВГП. – 2005. – Вип. 1(29). – С. 98–106.
7. Самойленко А.М. Диференційні рівняння у прикладах і задачах / А.М. Самойленко, С.А. Кривошея, М.О. Перестюк. – К. : Вища шк., 1994. – 454 с.

Отримано 08.10.2010

В. Л. ФИЛИПЧУК  
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ  
Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

Приведена математическая модель оборотной системы водоснабжения предприятия, которая включает производство, резервуары для накопления и усреднения сточных вод, очистные сооружения, состоящие из блоков извлечения нерастворимых и растворимых примесей. Проанализировано влияние технологических параметров сооружений системы на степень накопления примесей в оборотной воде.

**математическая модель, замкнутые системы водоснабжения, тяжелые металлы, растворимые примеси, накопление солей, очистка сточной воды**

V. L. FILIPCHUK

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE CIRCULATING WATER SYSTEM OF ENTERPRISE

National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne

The mathematical model of the circulating water system of enterprise, which includes production, reservoirs for accumulation of sewages, cleansing building, which include the blocks of extraction of insoluble and soluble admixtures, is resulted. Influence of technological parameters of building of the system on the degree of accumulation of admixtures in circulating water is analysed.

**mathematical model, closed water systems, heavy metals, soluble admixtures, accumulation of salts, flow water treatment**

**Филипчук Віктор Леонідович** — доктор технічних наук, завідувач кафедри охорони праці і безпеки життєдіяльності Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне). Академік Міжнародної академії наук екології та безпеки життєдіяльності (м. Санкт-Петербург). Наукові інтереси: очищення промислових стічних вод, екологічно безпечні системи водного господарства підприємств.

**Филипчук Віктор Леонідович** — доктор технических наук, заведующий кафедрой охраны труда и безопасности жизнедеятельности Национального университета водного хозяйства и природопользования (г. Ровно). Академик Международной академии наук безопасности жизнедеятельности (г. Санкт-Петербург). Научные интересы: очистка промышленных сточных вод, экологически безопасные системы водного хозяйства предприятий.

**Filipchuk Victor Leonidovich** — a D. Sc. (Engineering), a Professor of the Manager Department of Labour Protection and Safety of Vital Functions of National University of Water Management and Nature Resources Use (Rivne). Academician of International Academy of Ecology and Life Protection Sciences. Research interests: cleaning of industrial sewages, ecologically safe systems of water economy of enterprises.

## ЗМІСТ

БАЛІНЧЕНКО О. Й. Інтенсифікація видалення з води високих концентрацій заліза	3
ОРЛОВ С. М., ДМИТРОЧЕНКОВА Е. І., ОРЛОВА А. Я. Аналіз роботи циклона як першого ступеня очищення газу від пилу	10
УВАРОВ П. Є., ШПАРБЕР М. Є., УВАРОВ Є. П. Модульний принцип побудови інфографічної моделі інтерактивного проектування інвестиційно-будівельного виробництва	16
КУХАР А. В. Вплив розущільнення ґрунту довкола карстового провалу на будівлі і споруди, які проектуються в карстових районах	26
ЧЕБОТАРЬОВА О. В., СЕРБІН В. А., КОЛОСОВА Н. В. Теплообмін з навколошнім середовищем метантенка для збражування біомаси	31
ТОЛСТИХ А. С., РОМАНЕНКО І. Д., КОВАЛЬОВА Є. І., РОМАНЕНКО Г. А., ЖЕЛЕЗНЯК К. О. Дослідження процесу абсорбції оксидів азоту в тарілчастому абсорбери	37
ЗАЙЧЕНКО Л. Г., АКУЛОВА Ю. Г. Фактори, що впливають на показники технологічних витрат питної води в системі комунального господарства	42
ОМЕЛЬЧЕНКО М. П., МОКРИЙ О. Г. Використання гіпохлориту натрію для знезараження води на централізованих водопроводах	47
НАЙМАНОВ А. Я., ГОСТЄВА Ю. В. Показники якості функціонування систем водопостачання і каналізації	53
ОЛЕКСЮК А. О., ГОРДЕЛЮК А. А., МАКСИМОВА Н. А. Теплообмінні процеси між повітрям і водою в прямоточних кондиціонерах змішуючого типу	58
ЛУК'ЯНОВ О. В., ОСТАПЕНКО Д. В., АЛЕКСАНДРОВ В. Д. Акумулятори теплової енергії на основі фазового переходу	64
ТИМЧЕНКО В. І., НОСАНОВ М. І., РОМАНОВА Т. І. Вплив штучних джерел світла на освітленість об'єктів	69
ТОЛСТИХ А. С., РОМАНЕНКО І. Д., КОВАЛЬОВА Є. І., РОМАНЕНКО Г. А., ЖЕЛЕЗНЯК К. О. Уловлювання діоксиду сірки в пінних абсорберах	76
УДОВИЧЕНКО З. В., САВІЧ Д. В. Ефективність використання апарату плівкового типу для очищення газів та утилізації теплоти скляного виробництва	81
ТКАЧЕНКО Т. М., БУГАЙОВА І. В. Раціональна забудова малих автопідприємств як шлях до поліпшення навколошнього середовища	86
ЛУК'ЯНОВ О. В., МОНАХ С. І., ВИБОРНОВ Д. В. Шахтні води як джерело теплоти для систем тепlopостачання	90
МАКСИМОВА Н. А., КИЧАТОВ В. П., КОСТИКОВА М. В. Способи утилізації теплоти повітря, що видається, в системах вентиляції і кондиціонування	96
ЗАХАРОВ В. І., САПРОНОВ Є. І., АРНАУТОВА О. В. Проектування систем газопостачання житлових будинків із застосуванням різних видів труб	101
ДМИТРОЧЕНКОВА Е. І. Ексергетичний аналіз когенераційної установки на базі реконструйованого двигуна внутрішнього згоряння	108
ГОЛОВАЧ Ю. О., ЗАХАРОВ В. І. Аналіз залежності параметра потоку відмов від діаметра газопроводів	117
ОЛЕКСЮК А. О., ДОЛГОВ М. В. Математична модель процесів тепломасообміну в триконтурних теплообмінниках з акумулятором теплоти	123
КОЛОСОВА Н. В., ЧЕБОТАРЬОВА О. В., СЕРБІН В. А. Аналіз технологічних особливостей збражування біомаси в метантенках для одержання біогазу	131
ЧЕРНИШЕНКО І. Е., НАЗАРОВА В. В. Визначення впливу властивостей електроліту та умов ведення процесу електролізу на інтенсивність виділення газу на електродах у процесі переробки відпрацьованих свинцово-кислотних акумуляторів	135

НАЗАРОВА В. В. Проблеми моделювання і прогнозування інгаляційного впливу шкідливих речовин на працівників при електрохімічних операціях (на прикладі електрохімічного методу утилізації свинцево-кислотних акумуляторів)	139
МУЩАНОВ В. П., БАЧУРІН А. М., КРИСЬКО О. А. Нове конструктивне рішення посилення резервуара	145
ОРЛОВ В. О., МІНАЄВА Н. Л. Знезалізnenня підземних вод в баштах-колонах в сільських населених пунктах	152
КРАВЕЦЬ В. А., ПОПОВ О. Л., ЛОЦМАН Г. О. Узагальнення досвіду застосування установок пилопридушення азотом в чорній металургії при переливах чавуну	158
ЧЕРНИШЕВ В. М., НЕЗДОЙМІНОВ В. І., КИЖАЄВ В. Ф., НУДНЕНКО А. М., ГУРОВ А. А. Дослідження глибокої мінералізації осаду стічних вод Донецьких очисних споруд	163
ЗАЙЦЕВ О. М., ШМОНЯК В. І., НАКОНЕЧНИЙ В. О. Взаємодія двох зустрічних, зміщених в горизонтальній площині закручених газових струменів	171
ДІХТЯР Т. В. Особливості впливу теплофізичних параметрів на тепломасообмінні процеси в системі «повітря — вода» при біологічному очищенні стічних вод в аеротенках	176
КОВТУН С. В., ЗАВОРОТНИЙ Д. В. До питання урахування деякого місцевого опору при розрахунку внутрішньої водопровідної мережі будівель	182
ПЧЕЛЬНИКОВ С. Б., ФОМЕНКО А. Я. Оцінка технічного стану будівельних конструкцій	188
ФІЛИПЧУК В. Л. Математична модель замкнутої системи водопостачання підприємства	195

## СОДЕРЖАНИЕ

БАЛИНЧЕНКО О. И. Интенсификация удаления из воды высоких концентраций железа	3
ОРЛОВ С. М., ДМИТРОЧЕНКОВА Э. И., ОРЛОВА А. Я. Анализ работы циклона как первой ступени очистки газа от пыли	10
УВАРОВ П. Е., ШПАРБЕР М. Е., УВАРОВ Е. П. Модульный принцип построения инфографической модели интерактивного проектирования инвестиционно-строительного производства	16
КУХАРЬ А. В. Влияние разуплотнения грунта вокруг карстового провала на здания и сооружения, проектируемые в карстовых районах	26
ЧЕБОТАРЕВА О. В., СЕРБИН В. А., КОЛОСОВА Н. В. Теплообмен с окружающей средой метантенка для сбраживания биомассы	31
ТОЛСТЫХ А. С., РОМАНЕНКО И. Д., КОВАЛЕВА Е. И., РОМАНЕНКО Г. А., ЖЕЛЕЗНЯК К. А. Исследование процесса абсорбции оксидов азота в тарельчатом абсорбере	37
ЗАЙЧЕНКО Л. Г., АКУЛОВА Ю. Г. Факторы, влияющие на показатели технологических расходов питьевой воды в системе коммунального хозяйства	42
ОМЕЛЬЧЕНКО Н. П., МОКРЫЙ О. Г. Использование гипохлорита натрия для обеззараживания воды на централизованных водопроводах	47
НАЙМАНОВ А. Я., ГОСТЕВА Ю. В. Показатели качества функционирования систем водоснабжения и канализации	53
ОЛЕКСЮК А. А., ГОРДЕЛЮК А. А., МАКСИМОВА Н. А. Теплообменные процессы между воздухом и водой в прямоточных кондиционерах смешивающего типа	58
ЛУКЬЯНОВ А. В., ОСТАПЕНКО В. В., АЛЕКСАНДРОВ В. Д. Аккумуляторы тепловой энергии на основе фазового перехода	64
ТИМЧЕНКО В. И., НОСАНОВ Н. И., РОМАНОВА Т. И. Влияние искусственных источников света на освещенность объектов	69
ТОЛСТЫХ А. С., РОМАНЕНКО И. Д., КОВАЛЕВА Е. И., РОМАНЕНКО Г. А., ЖЕЛЕЗНЯК К. А. Улавливание диоксида серы в пенных абсорберах	76
УДОВИЧЕНКО З. В., САВИЧ Д. В. Эффективность использования аппарата пленочного типа для очистки газов и утилизации теплоты стекольного производства	81
ТКАЧЕНКО Т. Н., БУГАЕВА И. В. Рациональная застройка малых автопредприятий как путь к улучшению окружающей среды	86
ЛУКЬЯНОВ А. В., МОНАХ С. И., ВЫБОРНОВ Д. В. Шахтные воды как источник теплоты для систем теплоснабжения	90
МАКСИМОВА Н. А., КИЧАТОВ В. П., КОСТИКОВА М. В. Способы утилизации теплоты удаленного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования	96
ЗАХАРОВ В. И., САПРОНОВ Е. И., АРНАУТОВА А. В. Проектирование систем газоснабжения жилых зданий с применением труб из различных материалов	101
ДМИТРОЧЕНКОВА Э. И. Эксергетический анализ когенерационной установки на базе реконструированного двигателя внутреннего сгорания	108
ГОЛОВАЧ Ю. А., ЗАХАРОВ В. И. Анализ зависимости параметра потока отказов от диаметра газопроводов	117
ОЛЕКСЮК А. А., ДОЛГОВ Н. В. Математическая модель процессов тепломассообмена в трехконтурных теплообменниках с аккумулятором теплоты	123
КОЛОСОВА Н. В., ЧЕБОТАРЕВА О. В., СЕРБИН В. А. Анализ технологических особенностей сбраживания биомассы в метантенках для получения биогаза	131
ЧЕРНЫШЕНКО И. Э., НАЗАРОВА В. В. Определение влияния свойств электролита и условий проведения процесса электролиза на интенсивность выделения газа на электродах в процессе переработки отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов	135

НАЗАРОВА В. В. Проблемы моделирования и прогнозирования ингаляционного воздействия вредных веществ на рабочих при электрохимических операциях (на примере электрохимического метода утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов)	139
МУЩАНОВ В. Ф., БАЧУРИН А. Н., КРЫСЬКО А. А. Новое конструктивное решение усиления резервуара	145
ОРЛОВ В. О., МИНАЕВА Н. Л. Обезжелезивание подземных вод в башнях-колоннах в сельских населенных пунктах	152
КРАВЕЦ В. А., ПОПОВ А. Л., ЛОЦМАН А. А. Обобщение опыта применения установок пылеподавления азотом в чёрной металлургии при переливах чугуна	158
ЧЕРНЫШЕВ В. Н., НЕЗДОЙМИНОВ В. И., КИЖАЕВ В. Ф., НУДНЕНКО А. М., ГУРОВ А. А. Дослідження глибокої мінералізації осаду стічних вод Донецьких очисних споруд	163
ЗАЙЦЕВ О. Н., ШМОНЯК В. И., НАКОНЕЧНЫЙ В. А. Взаимодействие двух встречных, смещенных в горизонтальной плоскости закрученных газовых струй	171
ДИХТЯРЬ Т. В. Особенности влияния теплофизических параметров на тепломассообменные процессы в системе «воздух – вода» при биологической очистке сточных вод в аэротенках	176
КОВТУН С. В., ЗАВОРОТНЫЙ Д. В. К вопросу учёта некоторых местных сопротивлений при расчёте внутренних водопроводных сетей здания	182
ПЧЕЛЬНИКОВ С. Б., ФОМЕНКО А. Я. Оценка технического состояния строительных конструкций	188
ФИЛИПЧУК В. Л. Математическая модель замкнутой системы водоснабжения предприятия	195

## CONTENTS

BALYNCHENKO O. I. Raise of high-rate iron removal from water	3
ORLOV S. M., DMITROCHENKOVA E. I., ORLOVA A. YA. Cyclone operational analysis as the first step of gas cleaning from dust	10
UVAROV P. E., SHPARBER M. E., UVAROV E. P. Modular principle of infographic model plotting of interactive designing of investment and construction work	16
KUKHAR A. V. Impact of soil failure around karst gaps on buildings and structures designed in karst regions	26
CHEBOTARYOVA O. V., SERBIN V. A., KOLOSOVA N. V. Heat exchange of methane tank with environment for biomass fermentation	31
TOLSTYKH A. S., ROMANENKO I. D., KOVALYOVA E. I., ROMANENKO G. A., ZHELEZNYAK K. A. Nitrogen oxides absorption in plate absorber	37
ZAICHENKO L. G., AKULOVA YU. G. Agents affecting technological consumption indices of drinking water in municipal services system	42
OMELTCHENKO M. P., MOKRY O. G. Sodium hypochlorite application to disinfect water in centralized water supply systems	47
NAIMANOV A. YA., GOSTEVA YU. V. Quality indices of water supply and sewerage systems	53
OLEKSYUK A. O., GORDELYUK A. A., MAKSIMOVA N. A. Heat-exchanging between air and water in direct-flow conditioners of mixing type	58
LUKYANOV A. V., OSTAPENKO V. V., ALEKSANDROV V. D. Thermal energy accumulators based on phase transition	64
TIMCHENKO V. I., NOSANOV M. I., ROMANOVA T. I. Artificial light source impact on illumination intensity of objects	69
TOLSTYKH A. S., ROMANENKO I. D., KOVALYOVA E. I., ROMANENKO G. A., ZHELEZNYAK K. A. Sulphur dioxide precipitation in foamy absorbers	76
UDOVICHENKO Z. V., SAVICH D. V. Efficiency application of film type system for gas cleaning and heat utilization of glass industry	81
TKACHENKO T. N., BUGAYOVA I. V. Rational development of small-scale motor transport enterprises for environment improvement	86
LUKYANOV A. B., MONAKH S. I., VYBORNOV D. V. Mine water as a source for heat supply systems	90
MAKSIMOVA N. A., KICHTOV V. P., KOSTIKOVA M. V. Heat recovery methods at deaeration in ventilation and air conditioning systems	96
ZAHAROV V. I., SAPRONOV YE. I., ARNAUTOVA O. V. Residential gas conduit design made of various kinds of pipes	101
DMITROCHENKOVA E. I. Exergy analysis of cogeneration plant based on refurbished internal combustion engine	108
GOLOVACH YU. O., ZAKHAROV V. I. Analysis of flow parameter dependence failure from gas pipeline diameter	117
OLEKSYUK A. O., DOLGOV N. V. Mathematical model of heat exchange processes in three-contour heat exchangers with heat storage	123
KOLOSOVA N. V., CHEBOTARYOVA O. V., SERBIN V. A. Heat exchange of methane tank with environment for biomass fermentation	131
CHERNYSHENKO I. E., NAZAROVA V. V. Effect of electrolyte characteristics and conditions of electrolysis process on gas escape intensity on electrodes during processing of exhausted lead-acid cells	135
NAZAROVA V. V. Problems of modeling and forecasting of inhalation exposures to workers in electrochemical operations (in terms of an example of electrochemical method of lead-acid cell processing)	139

MUSHCHANOV V. P., BACHURIN O. M., KRYSKO O. A. Latest approach of tank strengthening	145
ORLOV V. O., MINAEVA N. L. De-ironing ground waters at the tower-columns with expanded polystyrene filler in village settlement	152
KRAVETS V. A., POPOV A. L., LOTSMAN A. A. Application of nitrogen dust removal plants at pig iron casting in ferrous metallurgy	158
CHERNYSHEV M., NEZDOYMINOV V. I., KIZHAEV V. F., NUDNENKO A. M., GUROV A. A. Study of deep mineralization of sewage sediment in Donetsk treatment works	163
ZAITSEV O. N., SHMONYAK V. I., NAKONECHNIY V. A. Interaction of two opposing swirled gas jets displaced in horizontal plane	171
DIKHTYAR T. V. Effect of thermal and physical properties on mass and heat exchange processes in «air – water» system at biological sewage treatment in air tanks	176
KOVTUN S. V., ZAVOROTNIY D. V. Metering of local impedance at hydraulic calculation of inner water supply network of building	182
PCHELNICKOV S. B., FOMENKO A. YA. Technical state estimation of building structures	188
FILIPCHUK V. L. The mathematical model of the circulating water system of enterprise	195