

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ 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 2012-2(94)**

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА  
ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2012

### **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 № 7 від 26.03.2012

### **Редакційна колегія:**

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

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

Підписано до друку 30.04.2012 Формат 60х84 1/8. Папір багатофункціональний офісний.  
Друк різнографічний. Умов. друк. арк. 13.50 Тираж 300 прим. Заказ 110-12

### **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://donnasa.edu.ua/ru/publishing\\_house/vestnik](http://donnasa.edu.ua/ru/publishing_house/vestnik)

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

© Донбаська національна академія  
будівництва і архітектури, 2012

УДК 620.91(477)+797.34(477)

**С. А. ГОРОЖАНКИН, Д. В. ВЫБОРНОВ, С. И. МОНАХ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ И РЕСУРСНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЦЕССА ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В УКРАИНЕ**

Сделан детальный обзор применяющихся в Украине способов тепло- и электрогенерации. Дана объективная оценка состоянию вопроса в отрасли теплоэнергетики. Предложены оптимальные пути развития украинской энергетики в рамках евроинтеграции. Выдвинуты предложения по более широкому использованию вторичных и альтернативных источников теплоты.

**тепловая мощность, возобновляемые источники энергии, гелиоколлектор, ветрогенератор, тепловой насос**

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Начавшиеся с 2006 года разногласия с РФ касательно цен на поставки газообразного топлива послужили реальным толчком для переоценки взглядов на природные и альтернативные топливно-энергетические ресурсы. Возникла необходимость в повышении энергетической безопасности Украины путем разработки и развития собственных энергетических ресурсов, а также путем перехода на более доступные и экономически целесообразные энергоносители. Однако процесс перестройки всей огромной системы тепло- и электрогенерации инерционен и имеет ряд проблем на своем пути, в то время как обстоятельства требуют принятия решений и определенного развития. Следовательно, необходимо искать пути ускорения процесса перехода на альтернативные и экологически чистые виды топливно-энергетических ресурсов.

### **ЦЕЛЬ СТАТЬИ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Работа посвящена оценке использования топливных ресурсов в Украине, а также разработке путей ускорения процесса экологизации отрасли теплоэнергетики при сохранении и наращивании производственных мощностей.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Поскольку стратегическим направлением развития нашей страны является евроинтеграция, топливно-энергетический комплекс (ТЭК), как одна из стержневых составляющих экономики и хозяйства Украины, должен также развиваться и двигаться в этом направлении. При этом важно соблюсти не только требования Европейского Союза (ЕС), но и действовать в интересах украинской экономики. Одной из ключевых характеристик энергетики как Украины, так и большинства европейских стран является зависимость от импорта топлива. Поэтому страны ЕС нацелены на минимизацию энергозависимости и относительно успешно реализуют поставленные задачи. Со времен первого нефтяного кризиса 70-х годов европейским странам удалось снизить уровень своей энергетической зависимости с 70 до 50 % путем эффективного управления на рынке энергосбережения и энергоэффективности, а также частично за счет разработки собственной ресурсной базы. В одних странах это достигается путем развития атомной энергетики (Великобритания, Франция), а в других (Дания, Германия) за счет разработки альтернативных и возобновляемых источников энергии. В украинской же теплоэнергетике ситуация на сегодняшний день плачевная.

Большая часть оборудования теплоэлектростанций и теплоэлектроцентралей вводилось в эксплуатацию в период до 1970 года. Оборудование предприятий теплоснабжения морально и физически устарело: 64 % энергоблоков уже давно отработали свой ресурс, 32 % приближаются к сроку выработки как своего расчетного, так и физического ресурсов. Происходит значительный перерасход топлива (около 10 млн т у.т. в год) в силу того, что энергоблоки тепловых станций имеют низкий КПД, порядка 30 %, в то время как современные технологии позволяют достичь 45 % [1]. Согласно «Плану реконструкции и модернизации теплостанций и теплоэлектроцентралей в период до 2020 года» к 2020 году планируется осуществить реконструкцию 65 и строительство 8 энергоблоков, однако до сих пор не выделялось никаких инвестиций на такого рода капитальные затраты. Средств хватает только лишь на плановые и профилактические ремонты, которые не способны повысить качество сжигания топлива или увеличить КПД теплогенераторов.

Известно, что одним из значимых и приоритетных направлений развития теплогенерации согласно Энергетической стратегии Украины до 2030 года [2] должна стать ядерная энергетика. В Украине действует 15 энергоблоков на четырех АЭС (Запорожская, Южно-Украинская, Ровенская и Хмельницкая) общей мощностью 13,9 ГВт, которые покрывают 48 % нагрузки общего производства тепловой и электрической энергии. Согласно энергетической стратегии предусматривается увеличение мощности АЭС до 29,5 ГВт, а также предусматривается разработка мероприятий по улучшению качества ядерного топлива. Но освоение новых мощностей невозможно без решения проблем финансового, научно-технического, технико-экономического и организационного характера. Основными из них являются такие проблемы, как: поиск денежных средств на реконструкцию старых энергоблоков и строительство новых, необходимость в диверсификации (и тем самым обеспечении надежности поставок) рынка экспортируемого ядерного топлива, разработка собственных предприятий по производству тепловыделяющих элементов и оборудования для предприятий ядерной энергетики, пересмотр схем утилизации отработанного ядерного топлива, а также разработка мер по дальнейшему совершенствованию ядерной безопасности. Первые шаги по диверсификации поставок ядерного топлива уже сделаны. До 2011 года все ядерное топливо поставлялось только из РФ, но на данный момент в рамках реорганизации импорта на Южно-Украинскую АЭС уже поступило 84 тепловыделяющих сборки от Westinghouse Electric Company. Согласно контракту она поставит не менее 630 тепловыделяющих сборок до 2015 года для постепенной замены топлива [3]. На Хмельницкую АЭС было поставлено 48 сборок российского завода ОАО «ТВЭЛ», который на данный момент является основным импортером ядерного топлива в Украину. По последним данным НАЭК «Энергоатом» мультинациональная компания Westinghouse начнет поставки топлива также и на Запорожскую АЭС [4]. Т. е. в атомной энергетике заметны действия и подвижки, хоть и не в таком масштабе, как было запланировано.

Следующим элементом ТЭК является сектор возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в который входят гидроэлектростанции (ГЭС и ГАЭС), ветровые электростанции (ВЭС), гелиоколлекторные системы, геотермальные источники теплоты, теплонасосные установки (ТНУ), установки по сбраживанию биомассы и др. Что касается ГЭС и ГАЭС, то их производственные мощности были построены в 70-е годы прошлого века и являются морально устаревшими. Более 60 % оборудования ГЭС имеет срок эксплуатации 30 лет, поэтому требуют замены, реконструкции, доработки и оснащения новыми системами автоматизации и компьютеризации, что частично решается собственными силами «Укргидроэнерго» [5]. Следует отметить, что гидроэнергетика занимает в энергетическом балансе страны порядка 7 % нагрузки при практически изношенном силовом оборудовании. В Плане развития малой гидроэнергетики государством заложено освоение потенциала малых и средних рек с вложением 9 млрд грн., однако до сих пор работы в этом направлении не начаты [2].

Согласно оценке Национального агентства Украины по эффективному использованию энергоресурсов годовой потенциал ветровой энергии составляет порядка 500 млрд кВт. На сегодняшний день в Украине работает 10 ВЭС общей установленной мощностью 92 МВт [6]. Согласно постановлению КМУ (№ 705 от 08.07.2009) 0,75 % тарифа на электроэнергию формирует фонд развития и строительства ВЭС. Это положение совместно с «зеленым» тарифом [7] создает благоприятные условия для развития ветроэнергетики в Украине, учитывая также то, что практически половина территории страны располагает благоприятными скоростями ветра, а система электроснабжения довольно разветвленная, что предоставляет благоприятные возможности для подключения ВЭС. Однако не стоит забывать и о недостатках ветровой энергетики. Во-первых, из всех рассматриваемых сегодня 20 проектов строительства ВЭС [6] практически все предусматривают использование готовых разработок зарубежных фирм, что приведет к выносу капитала за границу, и не будет поддерживать



отечественных производителей, которые, тем не менее, имеют достаточную проектно-конструкторскую и технологичную базу. Во-вторых, при увеличении доли ветроэнергетики система энергоснабжения станет менее маневренной и более зависимой от традиционных ТЭС и АЭС. На сегодняшний день график потребления электроэнергии имеет довольно широкую амплитуду колебания при максимуме днем и минимуме ночью, следовательно, в дальнейшем система энергоснабжения должна становиться более гибкой и предусматривать возможность быстрого введения в работу и наращивания дополнительных, резервных мощностей. При увеличении доли ВЭС придется увеличивать и долю пиковых, аварийных источников тепла, что не снимает проблемы использования морально и физически устаревших теплостанций.

Возможность использования солнечной энергии есть практически на всей территории Украины, поскольку среднегодовое количество солнечной энергии составляет  $1\,070 \div 1\,400$  кВт ч/м<sup>2</sup>. Очевидно, что наиболее целесообразным является использование гелиоколлекторов в южных регионах (Одесская, Херсонская, Запорожская, Николаевская области, АРК) при общей технически осуществимой возможности экономии 6 млн т у.т. На сегодняшний день в Украине построено 5 солнечных электростанций общей мощностью 8 МВт. Кроме того, в Украине есть научно-техническая и сырьевая база по производству оборудования и промышленного производства фотоэлементов (ОАО «Квазар» и ООО «Пилар» обеспечивают 10 % мирового производства монокристаллического кремния). Но развитие этой отрасли энергетики сдерживается резким подорожанием поликремния, обусловленным интенсивным расширением спроса на гелиосистемы в мире. Следует отметить, что ежегодно в Украине производится фотоэлементов общей мощностью около 150 МВт, а внедряется около 100 кВт, поскольку практически вся продукция идет на экспорт.

Отдельно следует остановиться на экологических характеристиках отечественных теплогенерирующих установок. Поскольку Украина стремится занять достойное конкурентоспособное место среди стран ЕС, необходимо кардинально решать вопрос об экологизации теплостанций, ведь тепло-, электроснабжение и промышленность выбрасывают 61 % CO<sub>2</sub> в атмосферу при том, что эмиссия на душу населения составляет 6,4 т CO<sub>2</sub>. Значительная часть угля, который является третьим сжигаемым энергетического топлива, имеет зольность порядка 40 %, содержание серы 3–4 % и влажность до 10 %, поэтому при его сжигании происходит загрязнение, коррозия и износ поверхностей нагрева. Однако очевидно, что твердое топливо занимает прочные позиции в энергообеспечении, поэтому следует работать над совершенствованием конструкции топочных камер и поверхностей нагрева, которые привели бы к увеличению КПД установки и срока эксплуатации оборудования в целом, а также позволили бы кардинальным образом сократить количество вредных выбросов в атмосферу.

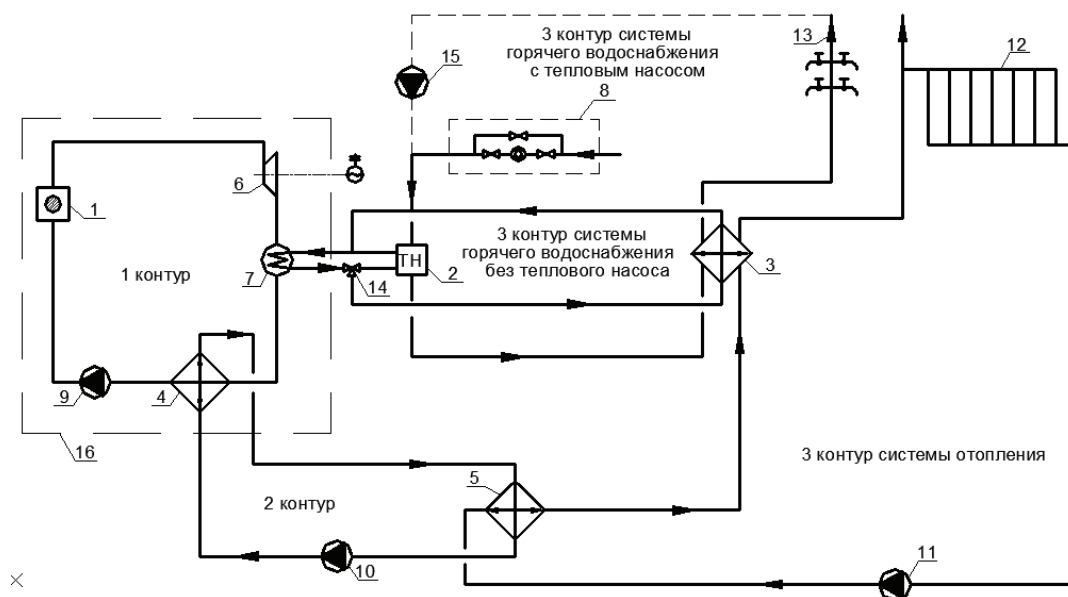
Согласно энергетической стратегии Украины потенциал энергосбережения состоит из двух основных составляющих: технической и структурной. Техническая составляющая включает в себя увеличение эффективности добычи, производства, переработки, транспортировки и потребления энергоресурсов. В рамках этого сектора следует предусматривать внедрение новых, более экономически целесообразных и технологически обоснованных, методов слоевого сжигания твердого топлива, разработку и совершенствование топочных камер и хвостовых поверхностей нагрева в комплексе с уменьшением выброса вредных веществ в атмосферу. Под мероприятиями структурной составляющей согласно [2] следует понимать уменьшение удельного веса энергоемких отраслей за счет внедрения наукоемких технологий с низким энерго- и материалосодержанием. В рамках этого сектора энергосбережения должны осуществляться такие мероприятия, как: использование современных систем учета энергоресурсов, использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ), внедрение автоматизированных и компьютеризированных систем энергосбережения, использование новых технологий сжигания топлива и др. [2].

Отдельно следует остановиться на использовании НВИЭ как важном факторе на пути к повышению энергонезависимости. На сегодняшний день технически доступным в Украине является ресурс НВИЭ, оцениваемый в 79 млн т у.т. при экономически доступном уровне, при базовом сценарии разработки энергоресурсов – 57,7 т у.т. Вполне реально к 2020 году за счет одной только геотермальной энергии, которая включает в себя энергию грунта и грунтовых вод, достигнуть покрытия мощности 190 тыс. т у.т. в год. Следующим наиболее эффективным и перспективным является экологически чистое производство по использованию теплоты окружающей среды с помощью термотрансформаторов и ТН. Например, широко признанными в мировой практике являются тепловые системы с низкотемпературным тепловым потенциалом. Ресурсы, аккумулированные в окружающей среде в виде низкопотенциальной теплоты, превышают все потребности Украины в тепловой энергии!

Отдельное место в процессе выработки теплоты занимают ТН. Эти установки давно покорили практически весь мировой рынок своим простым принципом действия, возможностью выбирать

любой удобный первичный теплоноситель, разнообразием комплектации, возможностью устраивать дополнительное кондиционирование в теплый период года и установкой практически любой тепловой мощности по требованию заказчика. Среди украинских производителей ТН известны Неженский завод «Прогресс» и Мелитопольский завод холодильного машиностроения «Рефма». К сожалению, масштабы внедрения теплонасосов в стране растут медленно. Причиной этому является относительно высокая стоимость оборудования, что требует больших единовременных капитальных вложений, отсутствие поддерживающей государственной политики, а также отсутствие широкого доступа к информации о практике применения ТН. Тем не менее, совершенно очевидно, что повсеместное внедрение ТН позволит решить ряд насущных энергетических проблем.

В качестве примера синтеза энергосберегающих ТН технологий и традиционной АЭС предлагается представленная на рисунке 1 комбинированная тепловая схема, которая была разработана на кафедре ТТГВ с целью внедрения в производство.



**Рисунок 1** — Многоконтурная схема для нужд отопления и горячего водоснабжения с использованием теплового насоса: 1 — атомный источник энергии; 2 — водоводяний тепловой насос; 3 — трехконтурный теплообменный аппарат; 4 — двухконтурный теплообменный аппарат радиоактивного контура; 5 — двухконтурный теплообменный аппарат второго контура; 6 — турбина; 7 — конденсатор; 8 — узел ввода холодной воды; 9 — циркуляционный насос первого контура; 10 — циркуляционный насос второго контура; 11 — циркуляционный насос системы отопления; 12 — система отопления; 13 — система горячего водоснабжения; 14 — регулировочный трехходовой кран; 15 — циркуляционный насос системы горячего водоснабжения; 16 — биологическая защита.

В первом радиоактивном контуре циркулирует вода под высоким давлением. В этот контур включены турбина промышленного типа для выработки электроэнергии, конденсатор, в котором происходит конденсация отработанного пара. Двухконтурный теплообменник 4 отбирает теплоту конденсата для подогрева в теплообменнике второго контура 5 теплоносителя для системы отопления 12. Теплота, полученная от конденсации пара, идет на подогрев второго контура системы горячего водоснабжения (ГВС), который содержит в себе тепловой насос 2, выполняющий роль первой степени подогрева холодной воды, поступающей из водопровода для системы ГВС. Регулировочный кран 14 выполняет роль регулирующего органа с целью балансировки поступления греющего теплоносителя к теплому насосу и трехконтурному теплообменнику второй ступени 3, в котором происходит окончательный догрев теплоносителей ГВС и системы отопления. Циркуляцию внутри контуров обеспечивают соответствующие циркуляционные насосы 9, 10, 11, 15.

Наличие большого количества контуров не только позволит сэкономить на конструкции и эксплуатации реактора и уменьшить влияние радиоактивного излучения на теплоноситель, который поступает к потребителю, но и максимально утилизировать тепловую энергию, которая вырабатывается при работе атомного реактора.

## ВЫВОДЫ

1. Совершенно очевидно, что в случае игнорирования энергосберегающих мероприятий энергоэффективность Украины станет экономически неразвитой и отсталой по сравнению с другими государствами, в то время как за счет внедрения ТН можно обеспечить как полное теплоснабжение частного сектора, так и частичное замещение тепловой нагрузки промпредприятий. Увеличение доли НВЭР самым позитивным образом скажется на конкурентоспособности отечественного продукта и сделает Украину энергетически независимой от поставщиков топлива.

2. В качестве путей решения проблем энергоснабжения можно предложить такие мероприятия, как: уменьшение в энергетическом балансе доли природного газа за счет угля (с учетом обязательного повышения эффективности его сжигания) и атомных источников энергии (при обязательном обновлении ядерного топлива и решении вопросов о безопасной утилизации отработанного ядерного топлива); разработка путей диверсификации источников теплоснабжения, в том числе за счет увеличения доли НВИЭ как перспективного и экологичного источника энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за грудень та 2010 рік [Електронний ресурс] // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України : Офіційний веб-сайт / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. — 19 січня 2011. — Режим доступу : [http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art\\_id=188753&cat\\_id=35081](http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=188753&cat_id=35081).
2. Енергетична стратегія України до 2030 року [Електронний ресурс] / Міністр палива та енергетики України І. Плачков // Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» : Офіційний веб-сайт / Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом». — 127 с. — Режим доступу : [http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about\\_nngc/esu2030](http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about_nngc/esu2030).
3. Nuclear Power in Ukraine [Електронний ресурс] // World Nuclear Association : Representing the people and organisations of the global nuclear profession. — Updated February 2012. — Режим доступу : <http://world-nuclear.org/info/inf46.html>.
4. Гавриш, Олег. Все в сборке [Електронний ресурс] / Олег Гавриш // Коммерсантъ Украина : ежедневная деловая газета. — 20.06.2011. — № 97 (1271). — Режим доступу : <http://www.kommersant.ua/doc/1663354>.
5. Особливості ОЕС України та науково-технічні проблеми забезпечення її розвитку [Електронний ресурс] / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, В. Я. Жуйков, А. Г. Баталов // Проблеми сучасної електротехніки-2010 : Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції / Інститут електродинаміки НАН України. — К., 2010. — Режим доступу : [http://www.fel.kpi.ua/ppedisc/doc/p/p\\_l.pdf](http://www.fel.kpi.ua/ppedisc/doc/p/p_l.pdf).
6. Набожняк, А. Ветер заменит газ. Ветряная энергетика способна обеспечить до четверти потребностей Украины в энергоресурсах [Електронний ресурс] / А. Набожняк // Энергономика. — 2010. — 10 ноября. — Режим доступа : <http://energy.dsnews.ua/wind-energy/129-veter-zamenit-gaz-vetrianaia-energetika-sposobna-obespechit>.
7. Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення «зеленого» тарифу [Текст] : Закон України від 25.09.2008 № 601-VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2009. — № 13. — Ст. 155.

Получено 03.02.2012

**С. А. ГОРОЖАНКІН, Д. В. ВИБОРНОВ, С. І. МОНАХ**  
**ТЕХНІЧНА ТА РЕСУРСНА СКЛАДОВА ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОРЕСУРСООЩАД-**  
**ЖЕННЯ В УКРАЇНІ**

**Донбаська національна академія будівництва і архітектури**

Зроблено детальний огляд застосовуваних в Україні способів тепло- та електрогенерації. Надано об'єктивну оцінку всім галузям теплоенергетики. Запропоновано оптимальні шляхи розвитку української енергетики в рамках євроінтеграції. Висунуто пропозиції щодо більш широкого використання вторинних та альтернативних джерел теплоти.

**теплова потужність, поновлювані джерела енергії, геліоколектор, вітрогенератор, тепловий насос**

SERGEY GOROZHANKIN, DMITRY VYBORNOV, SVETLANA MONAKH  
TECHNICAL AND RESOURCE COMPONENT OF PROCESS SAVING ENERGY AND  
RESOURCES IN UKRAINE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The detailed review of ways applied in Ukraine heat — and electrogeneration has been made. The objective estimation of question condition in power system branch has been given. Optimum ways of development of the Ukrainian power industry within the limits of European integration has been offered. Proposals according to wider use of secondary and alternative sources of heat have been brought.

**the heat power, renewable source of energy, solar collector, wind-powered generator, heat pump**

**Горожанкін Сергій Андрійович** — д. т. н., професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання та гарячого водопостачання з використанням теплонасосних технологій.

**Выборнов Дмитро Володимирович** — аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання та гарячого водопостачання з використанням теплонасосних технологій.

**Монах Світлана Ігорівна** — к. т. н., доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання при впровадженні теплонасосних та когенераційних технологій виробництва енергоносіїв.

**Горожанкин Сергей Андреевич** — д. т. н., профессор кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения с использованием теплонасосных технологий.

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

**Монах Светлана Игоревна** — к. т. н., доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения при внедрении теплонасосных и когенерационных технологий производства энергоносителей.

**Sergey Gorozhankin** — DSc (Eng.), Professor; Department Automobiles and Automobiles Engineering of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving in heat and hot water supply systems with use of heatpump technics.

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

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

УДК 697.34

**С. П. ВИСОЦЬКИЙ<sup>а</sup>, А. В. КОНДРИКІНЬСКА<sup>б</sup>, Н. Н. ВАХТАНГІШВІЛІ<sup>с</sup>**

<sup>а</sup> Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», <sup>б</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури, <sup>с</sup> Донецький національний університет

## **ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ТА РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА**

Наведені економічні та екологічні показники теплопостачання з використанням теплових насосів та різних видів палива у водогрійних котлах. Обґрунтована доцільність використання рапсового масла для спалювання в водогрійних котлах як альтернативи природному газу при сучасних цінах на енергоносії. Впровадження теплових насосів для теплопостачання дозволяє скоротити питомі витрати палива на одиницю виробленого тепла від 1,4 раза і до більше ніж у 2 рази залежно від коефіцієнта корисної дії електрогенерувального устаткування.

**теплові насоси, питомі витрати палива, коефіцієнт корисної дії, теплофікація, викиди карбонового газу, вугілля, природний газ, рапсове масло**

У вітчизняній практиці в комунальному господарстві як паливо використовується, в основному, природний газ. Високі ціни на природний газ та тренди щорічного підвищення його ціни спонукають до необхідності пошуку шляхів скорочення споживання цього енергоносія та використання для теплофікаційних потреб альтернативних джерел енергії. Окрім цього, в світовій практиці ведуться інтенсивні пошуки можливостей скорочення викидів парникових газів.

Метою цього дослідження є визначення шляхів скорочення споживання природного газу за рахунок впровадження теплових насосів і використання одного з нетрадиційних енергоносіїв — рапсового масла.

У світовій практиці сьогодення знаходяться в експлуатації декілька мільйонів теплових насосів. Їх використання дозволяє суттєво скоротити потребу в високореакційних енергоносіях, таких як природний газ. Враховуючи стрімке зростання цін на природний газ, використання теплових насосів є досить актуальним для нашої країни. Окрім економічних показників, використання теплових насосів дозволяє поліпшити екологічні показники процесу генерації тепла за рахунок скорочення викидів карбонового газу.

В. Томсон (Лорд Кельвін) вперше в 1852 р. теоретично обґрунтував можливість «перекачки» тепла від середовища з низькою температурою до середовища з більшою температурою. До цього панувала точка зору, що тепло може передаватись тільки в напрямку від більш високої температури до низької. Для транспортування тепла потрібне використання зовнішньої енергії: електричної, механічної чи теплової.

Існує декілька видів теплових насосів. Вони розрізняються за призначенням (нагрівання, охолодження середовища, одержання гарячої води для побутових потреб, застосування при вентиляції приміщень, рекуперації теплоти та інше); за типом первинного джерела тепла, яке використовується (грунт, вода, повітря, вентиляційні викиди та інше); за типом робочого середовища (як для відбору, так і для віддачі тепла: розсіл/вода, вода/вода, повітря/вода, повітря/повітря та інше); за джерелом енергії, що використовується для приводу насосів, конструкцією теплових насосів, їх розміщенням та ін. [1, 2].

При використанні для опалення будинків теплових насосів в більшості випадків як енергоносіїв, з якого відбирається тепло, використовують навколишнє середовище. Найбільш доступним джерелом є атмосферне повітря. Проте при використанні повітряного первинного енергоносія виникають труднощі в періоди низьких температур, коли з'являється необхідність забезпечення максимальної теплової продуктивності насоса.

В помірному кліматі в добре ізольованих будинках теплові насоси забезпечують необхідний відпуск тепла. Більшість теплових насосів працює при температурі теплоносія — нагрітої води  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хоча в деяких випадках можлива експлуатація при температурі до  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому можуть бути використані стандартні системи теплофікації. В критичних випадках при значній тривалості низьких температур (що для нашої країни не є типовим) розглядається можливість використання додаткових джерел тепла або (і) використання поверхонь нагріву, розташованих під підлогою.

Діаграма, що показує принцип роботи теплового насоса та характеристики холодоагента в процесі роботи, наведена на рис. 1.

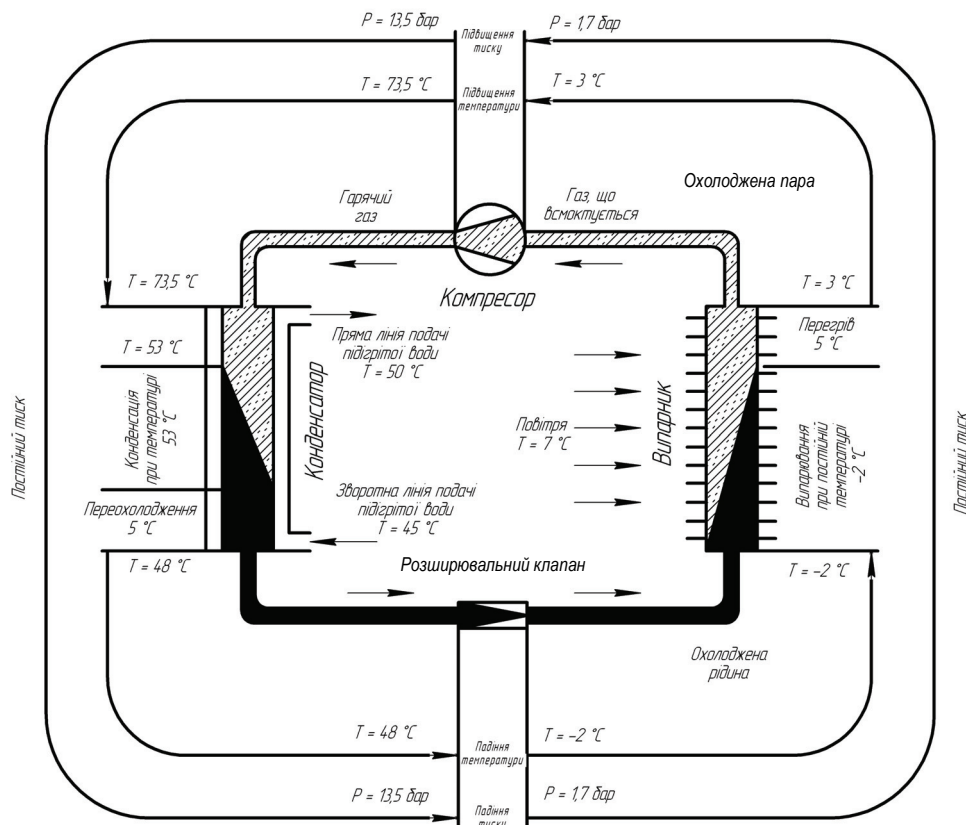


Рисунок 1 — Діаграма роботи теплового насоса при «відборі» тепла від повітря.

Порівняно з повітрям вода як первинний енергоносіє має суттєві переваги внаслідок значно більшої теплоємності, кращих теплообмінних властивостей та зручності доставки тепла до споживача. Проте мало споживачів мають можливість використовувати цей енергоносіє внаслідок відсутності поблизу водних джерел.

В країнах ЄС значна увага приділяється використанню як первинного енергоносія геотермальних джерел. При цьому в ґрунті (під поверхнею землі) встановлюється система труб. Вода, що циркулює по трубах, відбирає відновлювальну теплову енергію, накопичену в землі, і віддає її в тепловому насосі в контур теплопостачання [3, 4].

З точки зору скорочення викидів парникових газів важливим показником є коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ), тобто кількість одержаного тепла (в кДж чи кВт·год) до кількості використаного тепла чи електроенергії в тих же одиницях виміру. Сучасні теплові насоси мають КПЕ від 2,5 до 4,5, ефективність використання палива, відповідно, залежить від коефіцієнта корисної дії (ККД) енергетичного обладнання, яке генерує електричну енергію [4]. У тому випадку, якщо електрична енергія виробляється на звичайних теплових електростанціях з  $\text{ККД} \approx 0,35$ , а ефективність теплового насосу  $\text{КПЕ} = 3,5$ , то останні мають ефективність, що в 1,4–1,5 рази перевищує загальну ефективність одержання тепла в газових водогрійних котлах. Якщо генерація електричної енергії здійснюється в установках комбінованої генерації в газових та парових турбінах, що мають  $\text{ККД} \geq 0,5$ , а  $\text{КПЕ} = 4$ , то

ефективність використання палива більше ніж в 2 рази перевищує ефективність традиційних газових водогрійних котлів.

Слід відзначити ще одну важливу обставину. В умовах нашої країни основна частина електричної енергії виробляється на теплових та атомних електростанціях. Паливна складова вартості енергії складає 80 %. Враховуючи високу ціну природного газу та перспективи зростання його ціни, вартісну складову генерації теплової енергії з використанням теплових насосів можна оцінити з наступних міркувань.

При генерації електричної енергії ККД генерації складає

$$\eta_e = \frac{E}{Q_{n(yн)}^p B} = \frac{860}{7\,000 \cdot B} = \frac{0,123}{B}, \quad (1)$$

де  $E$  — тепловий еквівалент 1 кВт·год електричної енергії (860 ккал/кВт·год = 3,595 МДж/кВт·год);  
 $Q_{n(yн)}^p$  — теплотвірна здатність умовного палива, (7 000 ккал/кг = 29,26 МДж/кг);  
 $B$  — питома витрата умовного палива, кг/кВт·год.

Якщо середня калорійність твердого палива (вугілля), яке використовується на вітчизняних теплових електростанціях, складає ~ 5 000 ккал/кг (20,9 МДж/кг), а його вартість складає  $U_n = 600$  грн./т, то при ККД генерації  $\eta_e = 0,35$  та паливній складовій генерації  $\alpha_n = 0,8$  собівартість 1 кВт·год електричної енергії  $C_E$  буде

$$C_E = \frac{0,123 \cdot Q_{n(yн)}^p \cdot U_n}{\eta_e \cdot Q_{n(pн)}^p \cdot \alpha_n} = \frac{0,123 \cdot 29,26 \cdot 0,6}{0,35 \cdot 20,9 \cdot 0,8} = 0,369 \text{ грн. / кВт·год}, \quad (2)$$

де  $Q_{n(pн)}^p$  — теплотвірна здатність реального палива, МДж / кг.

При використанні природного газу для генерації електричної енергії для тих же умов  $\eta_e = 0,35$ ,  $\alpha_n = 0,8$  та теплотвірній здатності природного газу  $Q_{n(нз)}^p = 8\,000$  ккал/м<sup>3</sup> (33,44 МДж / м<sup>3</sup>) вартісна складова електричної енергії

$$C_E = \frac{0,123 \cdot Q_{n(yн)}^p \cdot U_{нз}}{\eta_e \cdot Q_{n(нз)}^p \cdot \alpha_n} = \frac{0,123 \cdot 29,26 \cdot 4,562}{0,35 \cdot 33,44 \cdot 0,8} = 1,75 \text{ грн. / кВт·год}, \quad (3)$$

де  $U_{нз}$  — ціна природного газу, грн. / 1 000 м<sup>3</sup> [з 01.10.2011 р. — 4 562,088 грн. / 1 000 м<sup>3</sup> (з ПДВ)].

Стає зрозумілим, що спалювання природного газу для генерації електричної енергії на теплових електростанціях при існуючих цінах на електричну енергію [0,3684 грн./кВт·год для споживачів із витратою > 150 кВт·год/місяць (за тарифами НКРЕ з 01.04.2011 р.)] є недоцільним. Окрім цього, навіть при спалюванні вугілля та низьких цінах на електричну енергію уряд дотує, в основному, власників промислових підприємств — великих споживачів електричної енергії.

При використанні твердого палива для опалення та для водопостачання гарячої води ККД генерації теплової енергії складатиме

$$\eta_m = \frac{Q_m}{Q_{n(yн)}^p B_m} = \frac{1\,000\,000}{7\,000 \cdot B_m} = \frac{142,86}{B_m}, \quad (4)$$

де  $Q_m$  — відпуск умовної одиниці тепла (у вітчизняній практиці 1 Гкал = 10<sup>6</sup> ккал);  
 $B_m$  — питома витрата умовного палива на 1 Гкал, кг / Гкал.

При використанні природного газу зручно користуватися витратою в м<sup>3</sup> / Гкал. Відповідно, для теплотвірної здатності газу 8 000 ккал/м<sup>3</sup>

$$B = \frac{125}{\eta_m}. \quad (5)$$

Паливна складова вартості 1 Гкал складає для ККД котлів  $\eta_k = 0,8$ , що спалюють природний газ

$$U_{нз} = \frac{125 \cdot 4,562}{0,8} = 712,8 \text{ грн. / Гкал};$$

вугілля

$$C_{nc} = \frac{142,86 \cdot 7\,000 \cdot 0,6}{5\,000 \cdot 0,8} = 150 \text{ грн. / Гкал.}$$

Незважаючи на суттєві економічні переваги, використання вугілля для генерації теплової енергії проблематичне в зв'язку з тим, що котельні розташовані на селищних територіях. Це обмежує або унеможливує можливість використання вугілля в зв'язку із значним вмістом золи та сірки у вугіллі вітчизняних родовищ.

В сучасних умовах спостерігається значний інтерес до використання біологічного палива для генерації як електричної, так і теплової енергії [5, 6, 7]. У більшості випадків при спалюванні твердого біологічного палива необхідна суттєва реконструкція котлів. Проте при використанні деяких енергоносіїв, наприклад сирого рапсового масла, необхідно замінити тільки пальники та системи подачі палива.

Рапс в Україні вирощується в значних обсягах. Рапсова олія при спалюванні в котлах не вимагає додаткового очищення. При її використанні як палива в теплофікаційних котлах вирішуються також екологічні проблеми, як скорочення викидів парникових газів [8, 9]. Доцільно розглянути паливну складову вартості тепла при використанні цього енергоносія. У цьому випадку

$$C_m = \frac{142,86 \cdot Q_{n(рм)}^p \cdot C_{рм}}{Q_{n(ym)}^p \cdot \eta} = \frac{142,86 \cdot 29,26 \cdot 4,8}{37,6 \cdot 0,8} = 667 \text{ грн. / Гкал,} \quad (6)$$

де  $Q_{n(рм)}^p$  — теплотвірна здатність рапсового масла (37,6 мДж/кг);  
 $C_{рм}$  — ціна неочищеного рапсового масла на ринку України (~ 600 дол / т = 4 800 грн. / т).

Наведені дані показують, що використання вітчизняних енергоносіїв, що вирощуються на наших багатих чорноземних ґрунтах, дозволяє скоротити витрати на теплопостачання в 1,07 рази. Окрім екологічних переваг — скорочення викидів парникових газів, це дозволяє також накопичувати енергоносії та використовувати його при відповідній необхідності.

## ВИСНОВКИ

1. Виконана економічна оцінка паливної складової вартості електро- та теплової енергії при використанні вугілля та природного газу залежно від коефіцієнта корисної дії теплоенергетичного обладнання.
2. Обґрунтована доцільність використання рапсового масла як альтернативи природному газу для теплофікації при сучасних цінах на вказані енергоносії.
3. Показано, що впровадження теплових насосів для теплопостачання дозволяє скоротити питомі витрати палива на одиницю виробленого тепла від 1,4 рази і до більше ніж в 2 рази залежно від коефіцієнта корисної дії електрогенерувального устаткування.
4. Незважаючи на значне зменшення паливної складової генерації енергії при спалюванні вугілля, використання вугільних котлів в селищних місцевостях неможливе або суттєво обмежене внаслідок викидів великих об'ємів золи та діоксиду сірки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хайнрих, Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения [Текст] / Г. Хайнрих, Х. Найорк, В. Нестлер. — М. : Стройиздат, 1985. — 352 с.
2. Анализ термодинамических процессов в системах охлаждения и тепловых насосах [Текст] / Под ред. В. Б. Скрынникова. — Днепропетровск : РИО ПГАСА, 2006. — 261 с.
3. Geothermal Heat Pumps [Текст] / Karl Ochsher Robin Curtis // Renewable energy world magazine. — 2008. — No. 9. — P. 65–72.
4. Law, R. Geothermal Power: Warning to a Global Opportunity [Текст] / Ryan Law // Renewable energy world magazine. — 2010. — No. 5. — P. 22–80.
5. Denis, N. Betting on biofuels? A beyond — the — hype looks at investment [Текст] / Nicolas Denis, Andreas Meiser, Alexander Schwartz // Renewable energy world magazine. — 2007. — No. 7. — P. 76–85.
6. Appleyard, D. UK Biofuels Update [Текст] / David Appleyard // Renewable energy world magazine. — 2009. — No. 7. — P. 72–82.
7. Sims, R. Reaching Consensus on Sustainable biofuels [Текст] / Ralph Sims // Renewable energy world magazine. — 2009. — No. 7. — P. 67–75.



8. Долинский, А. Возможности замещения природного газа в Украине за счет местных видов топлива [Текст] / А. Долинский, Г. Гелетуха // Энергетическая политика Украины. — 2006. — № 3–4 (март-апрель). — С. 60–65.
9. Daal, L. How the power industry can contribute to reducing the global water shortage [Текст] / Ludwin Daal // Power Engineering. — The Netherlands : KEMA, 2011. — № 5, Vol. 19. — P. 8–11.

Отримано 07.02.2012

**С. П. ВЫСОЦКИЙ <sup>а</sup>, А. В. КОНДРЫКИНСКАЯ <sup>б</sup>, Н. Н. ВАХТАНГИШВИЛИ <sup>с</sup>  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВА-  
НИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ И РАЗНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА**

<sup>а</sup> Автомобильно-дорожный институт ДВУЗ «ДонНТУ», <sup>б</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, <sup>с</sup> Донецкий национальный университет

Приведены экономические и экологические показатели систем теплоснабжения с использованием тепловых насосов и разных видов топлива в водогрейных котлах. Обоснована целесообразность использования в системах теплоснабжения рапсового масла для сжигания в водогрейных котлах как альтернатива природному газу при современных ценах на энергоносители. Использование тепловых насосов в системах теплофикации позволяет сократить потребление топлива на единицу выработанного тепла от 1,4 до более 2-х раз в зависимости от коэффициента полезного действия электрогенерирующего оборудования.

**тепловые насосы, удельные расходы, коэффициент полезного действия, теплофикация, выбросы углекислого газа, уголь, природный газ, рапсовое масло**

**SERGEY VYSOTSKY <sup>а</sup>, ANNA KONDRYKINSKAYA <sup>б</sup>, NINO VAKHTANGISHVILI <sup>с</sup>  
ECONOMICAL AND ECOLOGICAL INDEXES OF USE OF HEAT PUMPS AND  
DIFFERENT KINDS OF FUEL**

<sup>а</sup> Automobile and Road Technical Institute DonNTU, <sup>б</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>с</sup> Donetsk National University

Economical and ecological indexes of heat supply system with use of heat pumps and different kinds in hot-water boiler have been given. The rape oil use for burning in hot-water boilers in heat supply system as an alternative to natural gas by present energy prices has been proved. The use of heat pump in cogeneration system allows to reduce fuel usage per unit of produced heat from 1,4 to more then 2 times depending on efficiency factor of electrogenerated equipping.

**heat pumps, elementary discharges, efficiency factor, industrial heating, carbon dioxide emission, coal, natural gas, rape oil**

**Висоцький Сергій Павлович** — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Автомобільно-дорожного інституту ДВНЗ «ДонНТУ». Наукові інтереси: енергозбереження, системи очищення води, теплофікації, системи очищення газових викидів.

**Кондрикинська Анна Вікторівна** — магістр, аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсо-збереження.

**Вахтангішвілі Ніно Несторівна** — бакалавр міжнародної економіки, ДонНУ. Наукові інтереси: інвестування в енергоресурсозбереження.

**Высоцкий Сергей Павлович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Автомобильно-дорожного института ДВУЗ «ДонНТУ». Научные интересы: энергосбережения, системы очистки воды, теплофикации, системы очистки газовых выбросов.

**Кондрыкинская Анна Викторовна** — магистр, аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

**Вахтангишвили Нино Несторовна** — бакалавр международной экономики, ДонНУ. Научные интересы: инвестирование в энергоресурсосбережение.

**Sergey Vysotsky** — DSc (Eng.), Professor; Head of Department Ecology and Emergency management of Automobile and Road Technical Institute DonNTU. Scientific interests: energy-savings, water purification system, industrial heating, pollution abatement system.

**Anna Kondrykinskaya** — a master's degree, graduate student of the Department Heat, Gas Supply and Ventilation of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy-savings.

**Nino Vakhtangishvili** — a bachelor of international economy, DonNU. Scientific interests: investing in energy-savings.

УДК 532.517.4:532.13

**А. П. СИМОНЕНКО, А. Б. СТУПИН, А. Ю. СОБКО, С. А. ФОМЕНКО**

Донецкий национальный университет

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФЛОКОВОГО ПОКРЫТИЯ С ВОДОРАСТВОРИМЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ И ЭКОЛОГИИ**

Основной причиной, сдерживающей широкое применение явления снижения гидродинамического сопротивления трения добавками (эффект Томса), является отсутствие высокоэффективных и доступных в реализации способов приготовления за малые промежутки времени больших количеств однородных растворов высокомолекулярных полимеров с максимальным сохранением их молекулярной массы. В настоящей работе, в качестве примера, приведены результаты экспериментальных исследований по созданию на основе флоковых покрытий с гидродинамически активными водорастворимыми наполнителями проточного генератора приготовления растворов высокомолекулярных полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА). Показано, что использование такого генератора значительно упрощает процесс приготовления однородных растворов высокомолекулярных ПЭО и ПАА в промышленных масштабах с максимальным сохранением их гидродинамической эффективности.

**энергосбережение, экология, гидродинамическое сопротивление, эффект Томса, полиэтиленоксид, полиакриламид, водорастворимый наполнитель, полимерная суспензия, флоковое покрытие, проточный генератор, приготовление растворов**

Широкое применение водорастворимых высокомолекулярных полимеров в энергосбережении и экологии сдерживается рядом трудностей, к основным из которых следует отнести длительный во времени процесс их растворения и отсутствие оборудования, которое обеспечивает при этом максимальное сохранение молекулярной массы полимера в ходе приготовления больших объемов полимерных растворов за короткие промежутки времени.

В связи с этим в последнем десятилетии интенсивно ведутся работы по созданию соответствующих устройств и технологической оснастки для эффективного растворения порошкообразных полимеров и полимерных гелей, а также разрабатываются на их основе высокоэффективные быстро-растворимые полимерные композиции.

Особую актуальность эти проблемы приобретают в случаях применения высокомолекулярных водорастворимых полимеров (например, полиэтиленоксида — ПЭО и полиакриламида — ПАА) при чрезвычайных ситуациях (тушении крупномасштабных пожаров, аварийной откачке воды, ликвидации угрозы или последствий аварии при переполнении канализационных систем и т. д.).

Кроме этого, необходимо также уменьшить материальные и временные затраты при внедрении новых технологий, направленных на решение проблем энергосбережения и экологии, которые основаны на применении растворов высокомолекулярных ПЭО и ПАА.

Анализ научных работ и патентов на изобретения, посвященных применению высокомолекулярных ПЭО и ПАА в энергосбережении, путем использования явления снижения гидродинамического сопротивления трения (эффект Томса) [1, 2], а также решению проблем экологии и техногенной безопасности, показал, что одним из наиболее доступных способов приготовления полимерных растворов для этих целей является способ, в основу которого положен размыв специальным образом подготовленного и нанесенного на твердую оmyваемую поверхность движущегося в воде объекта или на армирующие вставки проточных генераторов растворов из водорастворимого покрытия.

В работах [3, 4] приведены результаты практического применения такого способа приготовления растворов гидродинамически активного ПЭО для повышения эффективности работы пожаротушащего и гидроразрушающего оборудования, а также для улучшения транспортировки гипсовых

© А. П. Симоненко, А. Б. Ступин, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко, 2012

вяжущих по трубопроводам. При этом высокомолекулярный ПЭО наносился на армирующие вставки, предварительно покрытые специальным грунтовочным слоем, путем перегрева его суспензий в литевых формах.

Известны также составы, способы приготовления и нанесения на твердые поверхности тел растворимых полимерных покрытий на основе ПЭО и ПАА из лакокрасочных материалов (ЛКМ), которые обеспечивают снижение гидродинамического сопротивления трения. Основной недостаток таких покрытий заключается в том, что для высокоэффективного снижения гидродинамического сопротивления трения необходимо обеспечить длительную во времени повышенную массоотдачу растворимого полимера из покрытия. Это приводит к необходимости увеличения толщины покрытия и, как следствие, к его плохой адгезии к грунтовочному слою. Кроме этого, приготовление покрытий из ЛКМ очень трудоемкий процесс и занимает много времени.

Многочисленными исследованиями, выполненными у нас в стране и за рубежом, установлено, что наиболее эффективно высокомолекулярные полимеры будут использоваться только тогда, когда на их основе будут созданы композиции для каждого конкретного случая применения [1, 3, 4].

Так, например, композиции, повышающие эффективность работы пожаротушащего оборудования, наряду с ПЭО, должны дополнительно содержать поверхностно-активные вещества [4], для обработки навоза с целью уменьшения выделения вредных и дурно-пахнущих газов — едкий натрий [5] и т. д.

В связи с вышеизложенным возникла необходимость создать полимерное покрытие для движущихся в воде объектов, а также проточную кассету на их основе, которые можно было бы использовать для приготовления растворов из композиций самых различных составов.

Предварительные исследования показали, что одним из перспективных направлений в решении данной проблемы может быть использование флоковых покрытий с водорастворимыми полимерными наполнителями. К примеру, такими наполнителями могут быть тонкодисперсные суспензии ПЭО и ПАА с размерами полимерных частиц меньше 63 мкм.

Перед использованием флоковые покрытия пропитывают полимерными наполнителями — тонкодисперсными полимерными суспензиями, которые вымываются либо набегающим потоком (при внешнем обтекании), либо (в случае использования в составе генератора приготовления растворов) потоком воды, подаваемой в генератор принудительным способом.

Флоковые материалы представляют собой капроновые ворсинки высотой 0,5–1,5 мм, которые наносятся электрофлокированием на покрытые клеевыми составами металлические или пластмассовые основы.

По сравнению с ультраслабыми полимерными покрытиями, которые наносятся на оmyваемую поверхность с использованием ЛКМ или перегревом полимерной суспензии, флоковые покрытия имеют ряд преимуществ, к основным из которых следует отнести:

- увеличение количества наносимого полимерного материала;
- увеличение количества вымываемого полимера за счет большой площади поверхности ворсинок, дополнительно увеличивающей общую площадь поверхности, с которой смывается полимерный материал;
- длина, плотность нанесения и угол наклона ворсинок к поверхности позволяют регулировать скорость поступления полимера в водный поток;
- в качестве водорастворимых полимерных наполнителей могут быть использованы суспензии ПЭО и ПАА различного назначения.

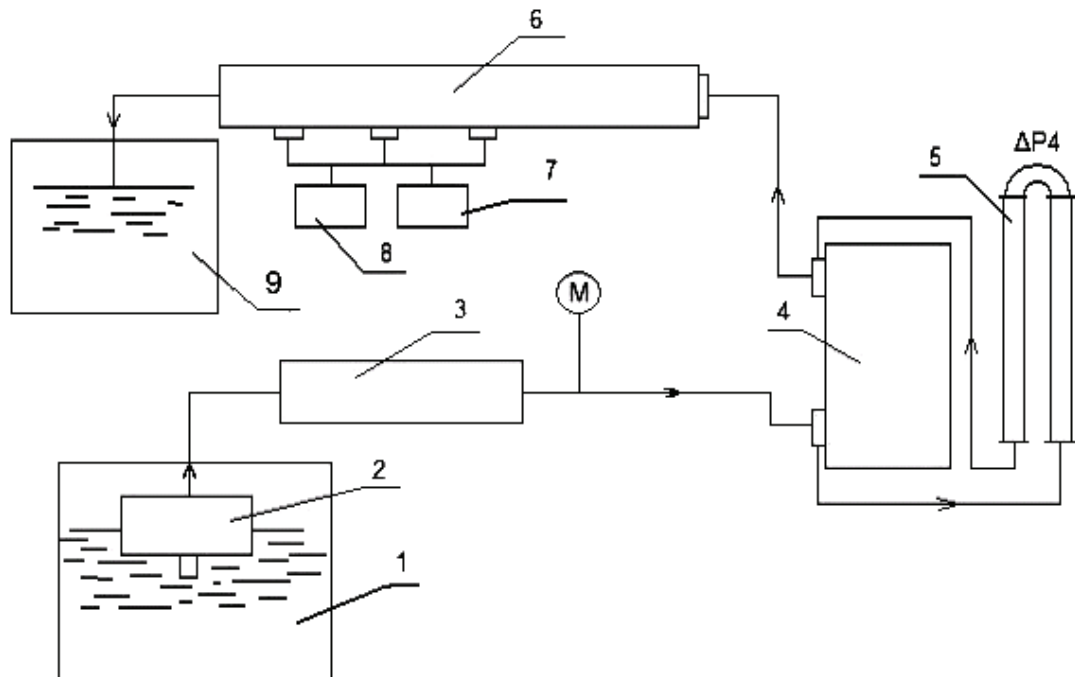
В настоящей работе, в основном, будут рассмотрены варианты применения флоковых покрытий в составе проточных генераторов приготовления растворов высокомолекулярных ПЭО и ПАА.

В зависимости от области применения, объема приготавливаемых растворов, конструкция генератора с флоковым покрытием и составы водорастворимых полимерных наполнителей могут существенно отличаться.

В процессе конструкторских и технологических проработок, выполненных авторами, было установлено, что наиболее простым в изготовлении и использовании является генератор, активный элемент которого — армирующая вставка с покрытием — представляет собой набор плоскопараллельных пластин, расположенных на расстоянии 3 мм друг от друга и скрепленных шпильками в пакет. Такой пакет размещается в корпусе генератора, к нижнему торцу которого поступала вода, а с верхнего отводился приготовленный полимерный раствор.

Испытания работоспособности проточного генератора приготовления растворов высокомолекулярного ПЭО, в состав которого входят армирующие вставки с флоковым покрытием, и оценка его

гидродинамической эффективности проводились на гидравлическом спецстенде, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.



**Рисунок 1** — Принципиальная схема спецстенда для испытания эффективности работы проточного генератора на основе флоковых покрытий с водорастворимым полимерным наполнителем: 1 — емкость для воды; 2 — насос; 3 — индукционный расходомер; 4 — генератор приготовления полимерных растворов; 5 — манометр для определения потерь давления в генераторе; 6 — измерительный канал; 7, 8 — дифференциальные манометры для определения потерь давления на контрольных участках измерительного канала; 9 — емкость для приготовленного с помощью генератора раствора.

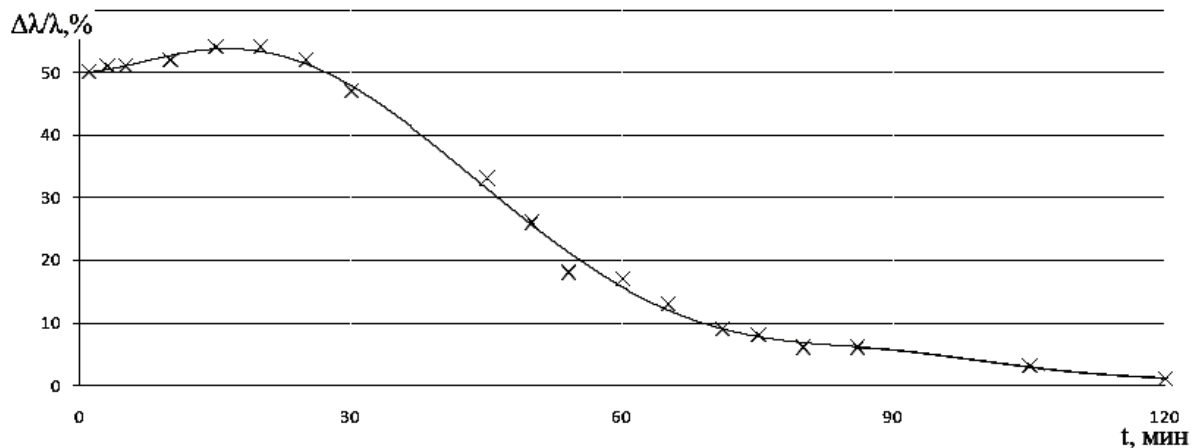
Принцип работы спецстенда сводится к следующему. Из емкости 1 насосом 2 вода через индукционный расходомер 3 подается в проточный генератор приготовления раствора 4. Полученный в процессе размыва полимерного наполнителя из флокового покрытия раствор поступает в измерительный канал 6, на контрольных участках которого с помощью дифференциальных манометров 7 и 8 определяли потери давления.

Потери напора в генераторе измеряли с помощью дифференциального манометра 5. После прохождения измерительного канала раствор, который образовался за счет размыва гидродинамически активного наполнителя, поступал в емкость 7. Потери давления во всем гидравлическом контуре измеряли с помощью образцового манометра М.

На рис. 2 представлена зависимость величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления трения  $\Delta\lambda / \lambda$ , % на контрольном участке трубопровода от времени активной работы генератора  $t$ , мин с флоковым покрытием, в качестве наполнителя которого использовалась тонкодисперсная равноплотная суспензия ПЭО в дисперсионной среде — смеси глицерина с водой.

Видно, что в течение первых 30 минут намываемый из флокового покрытия раствор ПЭО обладает существенным снижением гидродинамического сопротивления трения (величина  $\Delta\lambda / \lambda$  в этом промежутке времени равна 46–55 %). Начиная с 30 минуты эффективность приготавливаемого раствора постепенно уменьшается и к 60 мин, с начала проведения эксперимента, величина  $\Delta\lambda / \lambda = 17,5$  %, а на 120 мин становится равной нулю.

Такой способ приготовления полимерных растворов открывает широкие перспективы практического применения полимерных композиций в энергосбережении и экологии, т. к. в качестве водорастворимого наполнителя флоковых покрытий могут быть использованы полимерные суспензии самых различных составов, в т. ч. и суспензии специального назначения.



**Рисунок 2** — Зависимость величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления трения  $\Delta\lambda/\lambda$ , % от времени активной работы генератора с флоковым покрытием  $t$ , мин. Полимерный наполнитель флокового покрытия — тонкодисперсная суспензия порошка ПЭО с молекулярной массой  $4,5 \times 10^6$  в смеси глицерина с водой плотностью  $1,22 \text{ г/см}^3$ . Размер полимерных частиц  $\leq 63 \text{ мкм}$ .

Преимущества применения флоковых покрытий в составе генераторов приготовления растворов заключается в том, что в качестве водорастворимого полимерного наполнителя в них могут быть использованы не только вновь разработанные суспензии, но и известные суспензии ПАА и ПЭО.

Так, например, в целях улучшения работы пожаротушащего оборудования и повышения огнетушащих свойств воды эффективнее использовать составы, которые содержат наряду с ПАА поверхностно-активное вещество (ПАВ) — «Кубоксалим», а для уменьшения выветривания тонкодисперсных фракций при транспортировке сыпучих материалов и пылеподавления в состав полимерной суспензии целесообразнее вводить неионное ПАВ ОП-10 (табл. 1).

В то же время суспензии на основе ПЭО (табл. 2) эффективнее могут использоваться для предупреждения или ликвидации последствий аварий при переполнении канализационных систем, повышения эффективности работы гидрорезного и гидроразрушающего оборудования, улучшения экологической обстановки на крупных животноводческих комплексах и т. д.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Characteristics of copolymer — polymer, polymer — fibre combinations and grafted polymers as drag reducing agents and their industrial applications [Текст] / R. P. Singh, P. Chang, G. V. Reddy, etc. // Drag Reduct. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. / Robert H. J. Sellin, R. T. Moses. — Bristol : University of Bristol, 1984. — P. D4/1—D4/5.
2. Libermanore, M. W. Shear — induced structure formation is solutions of drag reducing polymers [Текст] / M. W. Libermanore, E. J. Pollauf, A. J. J. McHungh // Non — Newton. Fluid Mech. — 2003. — Vol. 113, № 2—3. — P. 193—208.
3. Ступин, А. Б. Гидродинамически активные композиции в энергосбережении и экологии [Текст] / А. Б. Ступин, А. П. Симоненко, П. В. Асланов. — Донецк : ДонГУ, 1999. — 240 с.
4. Гидродинамически активные композиции в пожаротушении [Текст] / А. Б. Ступин, А. П. Симоненко, П. В. Асланов, Н. В. Быковская. — Донецк : ДонГУ, 2001. — 149 с.
5. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности [Текст] : Монография / Под общ. ред. д.т.н., проф. А. Б. Ступина. — Донецк : ДонГУ, 2010. — 503 с.

Получено 09.02.2012

**Таблица 1** — Возможные варианты составов гидродинамически активных водорастворимых наполнителей для флоковых покрытий на основе полиакриламида (ПАА)

№	Молекулярная масса ПАА, млн	Состав водорастворимого наполнителя, вес %					Время хранения, сут.	$\Delta\lambda / \lambda$ % max
		ПАА	Наименование ПАВ	Концентрация ПАВ	Наимен. разбавителя ПАВ	Концентрация разбавителя		
1	3,0	20	Кубоксалим	54,3	Этанол	25,7	1	34,9
2	3,0	30	Кубоксалим	42,7	Метанол	27,3	1	34,8
3	6,0	20	Кубоксалим	48,8	Метанол	31,2	5	39,3
4	10,0	20	Кубоксалим	44,8	Пропанол	35,2	10	61,3
5	10,0	30	Кубоксалим	39,2	Этанол	30,8	10	57,2
6	10,0	30	Кубоксалим	47,6	Изопропанол	22,4	1	59,3
7	3,0	20	ОП-10	70,0	Вода	10,0	5	28,2
8	3,0	30	ОП-10	55,0	Вода	15,0	10	27,1
9	6,0	30	ОП-10	60,0	Вода	10,0	1	31,9
10	6,0	30	ОП-10	60,0	Вода	10,0	10	28,6
11	10,0	30	ОП-10	60,0	Вода	10,0	1	45,3
12	10,0	30	ОП-10	60,0	Вода	10,0	10	41,2
13	10,0	20	ОП-10	65,0	Вода	15,0	1	42,1
14	10,0	30	Алкилсульфаты натрия (R = 10–18)	55,0	Вода	15,0	1	39,1
15	10,0	30	«Превоцел»	55,0	Вода	15,0	1	44,9
16	6,0	30	Алкилсульфаты натрия (R = 10–18)	55,0	Вода	15,0	1	21,0
17	3,0	20	ОП-10	70,0	Изопропанол	10,0	5	28,4
18	3,0	30	ОП-10	55,0	Изопропанол	15,0	10	27,0
19	3,0	20	ОП-10	0	Изопропанол	80	5	24,9
20	3,0	30	ОП-10	0	Изопропанол	70	10	24,0

Примечание. Образцы ПАА под порядковыми номерами 3, 9, 10 и 16 имели степень гидролиза равную 30 %.

**Таблица 2** — Возможные варианты составов гидродинамически активных водорастворимых наполнителей для флоковых покрытий на основе полиэтиленоксида

№	Марка ПЭО (м.м.млн), размер частиц ПЭО мкм.	Содержание ПЭО в суспензии, г на 100 г ДС	Состав дисперсионной среды (ДС), вес. %			Плотность ДС, г/см <sup>3</sup> (20 °С)	Вязкость ДС, спз, (20 °С)	Температура суспензии и воды, °С	Время хранения суспензии без перемешивания, сут.	Величина эффекта снижения гидродинамического сопротивления, %
			Этилен-гликоль	Глицерин	Нитрат свинца					
1	2ОН-83(3,0), (50-400)–	25,0	66,9	–	8,1	1,214	19,6	16,0	1	34,0
2	–	33,0	59,8	–	7,2	1,214	19,6	16,0	1	28,6
3	–	25,0	69,0	–	6,0	1,180	18,1	16,0	1	34,0
4	–	33,0	64,6	–	5,4	1,180	18,1	16,0	1	29,8
5	–	33,0	57,4	–	9,6	1,250	21,1	16,0	1	28,3
6	–	33,0	21,1	45,9	–	1,214	301,0	16,0	1	23,4
7	–	25,0	5,2	69,8	–	1,250	644,0	16,0	1	22,5
8	–	33,0	4,7	62,3	–	1,250	644,0	16,0	1	23,0
9	–	33,0	36,5	30,5	–	1,180	63,0	16,0	1	23,1

О. П. СИМОНЕНКО, О. Б. СТУПІН, О. Ю. СОБКО, С. О. ФОМЕНКО  
ЗАСТОСУВАННЯ ФЛОКОВОГО ПОКРИТТЯ З ВОДОРОЗЧИННИМИ  
ПОЛІМЕРНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ В ЕНЕРГООЩАДЖЕННІ ТА  
ЕКОЛОГІЇ

Донецький національний університет

Основною причиною, яка стримує широке застосування явища зниження гідродинамічного опору тертя домішками, є відсутність високоефективних і доступних в реалізації засобів приготування за малі проміжки часу великої кількості однорідних розчинів високомолекулярних полімерів з максимальним збереженням їх молекулярної маси. У цій роботі наведені результати експериментальних досліджень по створенню на основі флокових покриттів з гідродинамічно активними водорозчинними наповнювачами проточного генератора приготування розчинів високомолекулярного поліетиленоксиду (ПЕО) і поліакриламід (ПАА). Показано, що використання такого генератора значно спрощує процес приготування однорідних розчинів високомолекулярних ПЕО і ПАА в промислових масштабах з максимальним збереженням їх гідродинамічної ефективності.

**енергоощадження, екологія, гідродинамічний опір, ефект Томса, поліетиленоксид, поліакриламід, водорозчинний наповнювач, полімерна суспензія, флокове покриття, проточний генератор, приготування розчинів**

ALEXANDER SIMONENKO, ALEXANDER STUPIN, ALEXANDER SOBKO,  
SERGEY FOMENKO  
APPLICATION OF FLOCK COVERING WITH WATER – SOLUBLE FILLER IN  
ENERGY-SAVINGS AND ECOLOGY

Donetsk National University

Main reason hampering the wide use of the phenomenon of hydrodynamic drag reduction using additives (Toms effect) is the lack of high-efficient and available methods allowing to prepare large volumes of homogenous solutions of high-molecular polymers within short periods of time with maximum preservation of their molecular mass. In the publication, the results of experimental research concerned with creation of a flowing generator for preparation of solutions of high-molecular polyethylene oxide (PEO) and polyacrylamide (PAA) based on the flock coatings with hydrodynamically active water-soluble fillers have been given. It has been shown that the use of such generator simplifies the process of preparation of homogenous solutions of high-molecular PEO and PAA at industrial level and allows maximum preserving their hydrodynamic efficiency.

**energy saving, ecology, hydrodynamic resistance, Thoms effect, polyethyleneoxide, polyacrylamide, soluble in water filler, polymeric suspension, flock covering, flowing generator, preparation of solutions**

**Симоненко Олександр Петрович** — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології й екології Донецького національного університету. Наукові інтереси: створення енергоощадних і екологічно чистих технологій, дослідження впливу гідродинамічно активних додатків на зниження опору тертя в турбулентних потоках рідин, участь у розробці ресурсощадних технологічних процесів.

**Ступін Олександр Борисович** — професор, д. т. н., завідувач кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології і екології Донецького національного університету. Заслужений діяч науки і техніки України, академік Академії наук вищої школи України і Української екологічної академії наук, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки. Наукові інтереси: створення енергоощадних і екологічно чистих технологій, дослідження впливу гідродинамічно активних додатків на зниження опору тертя в турбулентних потоках рідин, участь у розробці ресурсощадних технологічних процесів.

**Собко Олександр Юрійович** — старший викладач кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології і екології Донецького національного університету. Наукові інтереси: створення енергоощадних і екологічно чистих технологій, дослідження впливу гідродинамічно активних додатків на зниження опору тертя в турбулентних потоках рідин, участь у розробці ресурсощадних технологічних процесів.

**Фоменко Сергій Олександрович** — старший викладач кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології і екології Донецького національного університету. Наукові інтереси: створення енергоощадних і екологічно чистих технологій, дослідження впливу гідродинамічно активних додатків на зниження опору тертя в турбулентних потоках рідин, участь у розробці ресурсощадних технологічних процесів.



**Симоненко Александр Петрович** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, докторант кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии Донецкого национального университета. Научные интересы: создание энергосберегающих и экологически чистых технологий, исследование влияния гидродинамически активных добавок на снижение сопротивления трения в турбулентных потоках жидкостей, участие в разработке ресурсосберегающих технологических процессов.

**Ступин Александр Борисович** — профессор, д. т. н., заведующий кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии Донецкого национального университета. Заслуженный деятель науки и техники Украины, академик Академии наук высшей школы Украины и Украинской экологической академии наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники. Научные интересы: создание энергосберегающих и экологически чистых технологий, исследование влияния гидродинамически активных добавок на снижение сопротивления трения в турбулентных потоках жидкостей, участие в разработке ресурсосберегающих технологических процессов.

**Собко Александр Юрьевич** — старший преподаватель кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии Донецкого национального университета. Научные интересы: создание энергосберегающих и экологически чистых технологий, исследование влияния гидродинамически активных добавок на снижение сопротивления трения в турбулентных потоках жидкостей, участие в разработке ресурсосберегающих технологических процессов.

**Фоменко Сергей Александрович** — старший преподаватель кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии Донецкого национального университета. Научные интересы: создание энергосберегающих и экологически чистых технологий, исследование влияния гидродинамически активных добавок на снижение сопротивления трения в турбулентных потоках жидкостей, участие в разработке ресурсосберегающих технологических процессов.

**Alexander Simonenko** — PhD (Eng.), senior researcher in the speciality Mechanics of liquids, gas and plasma, doctoral candidate in physics of nonequilibrium processes, metrology and ecology of the Physics and Technology Department in Donetsk National University. Research interests: the creation of energy-efficient and environmentally appropriate technologies, the study of the influence of hydrodynamically active additives to reduce friction drag in turbulent flows of liquids, participation in the development of resource-saving technological processes.

**Alexander Stupin** — DSc (Eng.), professor; Head of the Chair in Non-Equilibrium Physics, Metrology and Ecology Donetsk National University. Honored Scientist of Ukraine. Member of the Academy of Sciences of Higher school of Ukraine and Ukrainian Ecological Academy of Sciences, laureate of state prize of Ukraine in the field of science and engineering. Research interests: development of energy-saving and ecologically clean technology, research of influence of hydrodynamically active admixture on reducing of frictional drag in transverse current, participation in development of resource-saving process.

**Alexander Sobko** — senior teacher of Physics of nonequilibrium processes, Metrology and Ecology Department, Donetsk National University. Research interests: development of energy-saving and ecologically clean technology, research of influence of hydrodynamically active admixture on reducing of frictional drag in transverse current, participation in development of resource-saving process.

**Sergey Fomenko** — senior teacher of Physics of nonequilibrium processes, Metrology and Ecology Department, Donetsk National University. Research interests: development of energy-saving and ecologically clean technology, research of influence of hydrodynamically active admixture on reducing of frictional drag in transverse current, participation in development of resource-saving process.

УДК 628.16.067

**Н. А. ГУРИНЧИК**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ЗАГРУЗКИ НА РАБОТУ СКОРОГО  
ФИЛЬТРА**

Рассмотрена связь между неоднородностью загрузки и продолжительностью фильтроцикла. Описана методика расчета распределения загрузки по высоте слоя. Проиллюстрировано влияние неоднородности загрузки на эксплуатационные параметры фильтра.  
**фильтрование, неоднородность загрузки, расход воды на собственные нужды**

В подготовке питьевой воды наиболее распространенными являются фильтровальные сооружения, основным элементом которых является зернистый слой, в качестве которого может использоваться кварцевый песок, антрацит, дробленый керамзит и др. Основными характеристиками фильтрующих материалов являются эквивалентный диаметр и коэффициент неоднородности, в первую очередь определяющие основные технологические параметры работы фильтров — время достижения предельных потерь напора, предельного уровня воды в фильтре, продолжительность защитного действия загрузки, расход воды на собственные нужды.

В большинстве случаев на практике используются неоднородные загрузки, которые хотя и перемешаны друг с другом, но средний диаметр зерен каждого слоя увеличивается в направлении от поверхности загрузки к ее основанию. Степень сортировки фильтрующего материала при промывке зависит от ряда факторов, которые трудно поддаются учету и могут рассматриваться как случайные. Тем не менее, гидравлическая сортировка неоднородной загрузки при промывке обратным потоком воды всегда происходит. Объяснить ее можно тем, что мелкие частицы имеют меньшую гидравлическую крупность, чем крупные, и «тонут» в псевдоожиженном слое медленнее. Даже если загрузить фильтр предварительно перемешанной загрузкой, то через несколько промывок слой сортируется по крупности — мелкие частицы окажутся наверху, а крупные в нижней части слоя. При фильтровании сверху вниз вода вначале попадает в мелкозернистые слои, быстро их забивает, и фильтр необходимо промывать. В результате загрузка, расположенная в средних и нижних частях слоя, в очистке не участвует. При этом сокращается продолжительность фильтроцикла, а значит, увеличивается расход воды на собственные нужды фильтра.

Установить связь между продолжительностью фильтроцикла и параметрами загрузки пытались различными методами [1, 2, 3]. Расчет скорости прироста потери напора в загрузке по Д. М. Минцу [2] производится по формуле

$$\frac{h}{t} = i_o F(A) \frac{a}{b}, \quad (1)$$

а для потерь напора в неоднородных загрузках можно воспользоваться предложением В. П. Криштула [1]

$$\frac{h}{t} = \varphi i_o F(A) \frac{a}{b}, \quad (2)$$

отсюда

$$t = \frac{h}{\varphi i_o F(A) \frac{a}{b}}, \quad (3)$$

где  $i_o$  — начальный гидравлический уклон (в чистой загрузке);  
 $F(A)$  — функция, зависящая только от предельной насыщенности порового пространства отложениями  $A$ ;  
 $a/b$  — параметр, характеризующий скорость проникновения отложений вглубь загрузки;  
 $\varphi$  — коэффициент неоднородности, определяемый как

$$\varphi = \left( \frac{d_{эке}}{d_{20}} \right)^2. \quad (4)$$

Обозначим  $\frac{h}{i_o \cdot F(A) \cdot \frac{a}{b}} = G$  в правой части уравнения (2), тогда

$$t = \frac{G}{\varphi}. \quad (5)$$

Параметр  $G$  включает все факторы, от которых зависит прирост потери напора. Влияние скорости фильтрования  $V$ , размера зерен загрузки  $d$ , свойств фильтруемой суспензии и осадка формально учитывается параметрами процесса  $a$ ,  $b$  и  $A$ . Однако кинетические коэффициенты  $a$  и  $b$  меняются во времени (при фильтровании с падающей производительностью) и по высоте слоя (если загрузка неоднородна по составу). Поэтому получить корректную аналитическую зависимость для продолжительности фильтроцикла практически невозможно.

Целью настоящего исследования было изучение влияния неоднородности загрузки на основные эксплуатационные показатели работы фильтра — продолжительность фильтроцикла и расход воды на собственные нужды. Для этого была использована математическая модель [4], решенная с помощью послойно-повременного метода расчета процесса фильтрования, который дает возможность учесть изменение крупности загрузки по высоте слоя.

При описании распределения загрузки использована кусочно-линейная функция [5]

$$d(x) = A_i P(x_i) + B_i,$$

где  $A_i, B_i$  — коэффициенты прямой, проведенной через две соседние точки ситового анализа;  
 $P(x_i)$  — процентное содержание фракций, прошедших через данное сито.

При обработке результатов отсева фильтрующей загрузки необходимо отказаться от учета крупности частиц, выходящей за пределы рекомендуемого диапазона 0,5–1,6 мм. Для каждого варианта определялся эквивалентный диаметр по формуле:

$$d_s = \frac{100}{\sum \frac{p_i}{d_i}},$$

где  $p_i$  — процентное содержание фракции со средним диаметром  $d_i$ . Помимо эквивалентного диаметра рассчитывались и коэффициенты неоднородности загрузки  $K$  и  $\varphi$ :

$$K = \frac{d_{80}}{d_{10}}, \quad \varphi = \left( \frac{d_{эке}}{d_{20}} \right)^2,$$

где  $d_{80}$ ,  $d_{20}$  и  $d_{10}$  — диаметры зерен в мм, соответствующие 80, 20 и 10 % калибрам применяемой загрузки.

При исследовании влияния различного гранулометрического состава загрузки были рассмотрены загрузки с одинаковым эквивалентным диаметром 0,9 мм и следующими коэффициентами неоднородности (табл. 1).

**Таблица 1** – Показатели сравниваемых вариантов фильтрующих загрузок

$\varphi$	1,0	1,52	1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	2,9	3,1
$K_n$	1,0	1,43	1,68	1,8	1,94	2,0	2,15	2,26	2,59	2,67	2,8

Для каждого варианта загрузки проведен численный эксперимент и определены продолжительность фильтроцикла и расход воды на собственные нужды фильтров (рис. 1, 2). Расход воды на собственные нужды определялся следующим образом:

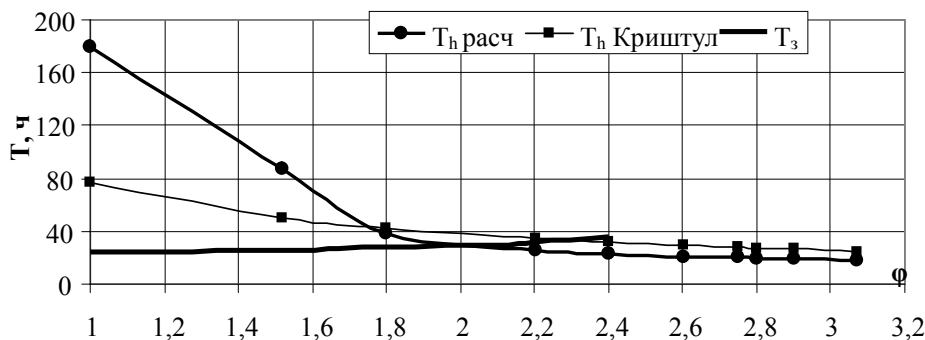
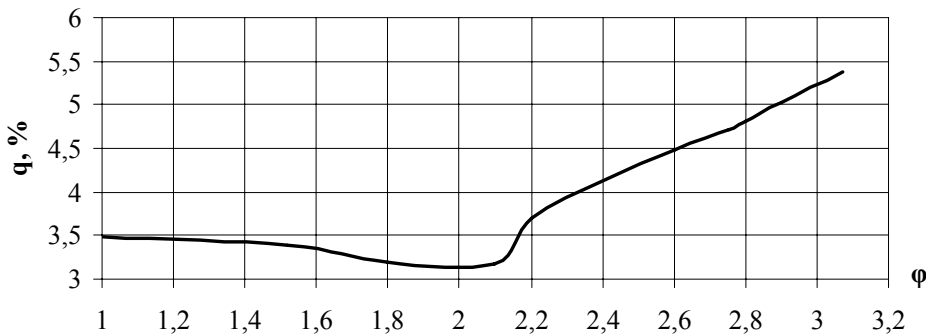
$$q = \frac{W}{(T_\phi + t_{np})V_{пол}},$$

где  $W$  – объем промывной воды, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

$T_\phi$  – продолжительность фильтроцикла, ч;

$t_{np}$  – время простоя при промывке, ч;

$V_{пол}$  – полезная производительность в конце цикла, м/ч.

**Рисунок 1** – Влияние неоднородности загрузки на продолжительность фильтрования.**Рисунок 2** – Влияние неоднородности загрузки на расход воды на собственные нужды.

Продолжительность фильтроцикла ( $T_\phi$ ) принимается минимальной из времени достижения предельного уровня воды в фильтре и времени защитного действия загрузки. При расчете процесса фильтрования также определяется динамика полезной производительности  $V_{пол}(T)$  по которой определяется полезная производительность в конце цикла.

Одновременно построена зависимость  $T(\varphi)$ , полученная по (5). Характер кривых совпадает, однако меньшее отклонение расчетных данных от теоретических наблюдается при значениях коэффициента неоднородности более 1,7.

Минимум на кривой расхода воды на собственные нужды (рис. 2,  $\varphi \approx 2,1$ ) объясняется переходом в определении продолжительности фильтроцикла от времени защитного действия загрузки ко времени достижения предельного уровня. Далее, с ростом неравномерности, быстрее растет уровень воды в фильтре, фильтроцикл сокращается и расход воды на собственные нужды увеличивается.

Таким образом, разработана методика, позволяющая оценить влияние неоднородности загрузки на работу фильтра. Это позволит проектировщику, наладчику очистных сооружений произвести технико-экономическое обоснование вариантов замены (кондиционирования) загрузки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Криштул, В. П. Приrost потери напора при фильтрации суспензий через неоднородные загрузки [Текст] / В. П. Криштул // Водоснабжение : Сб. научн. работ / АКХ им. К. Д. Памфилова. — М., 1961. — Вып. 8. — С. 195–204.
2. Минц, Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды [Текст] / Д. М. Минц. — М. : Стройиздат, 1964. — 156 с.
3. Гуринчик, Н. А. Определение продолжительности работы фильтров для разных режимов фильтрования [Текст] / Н. А. Гуринчик // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : Збірник наукових праць / Одеська державна академія будівництва та архітектури. — О. : Optimum, 2011. — Вип. 42. — С. 56–62.
4. Грабовский, П. А. Численное моделирование работы фильтровальных сооружений [Текст] / П. А. Грабовский, Н. А. Гуринчик // Вісн. Нац. ун-ту водного госп. та природокористування. — Рівне : РВЦ НУВГП, 2007. — Вип. 4(40), Ч. 2. — С. 429–434.
5. Грабовский, П. А. Корректировка гранулометрического состава зернистых материалов [Текст] / П. А. Грабовский, В. И. Прогульный // Обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение. Серия 3. — М. : ЭИ ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1984. — Вып. 3. — С. 5–11.
6. Ярошевская, Н. В. Метод расчета водоочистного фильтра с учетом гранулометрического состава загрузки [Текст] / Н. В. Ярошевская // Химия и технология воды. — 2007. — Т. 29, № 3. — С. 275–293. — ISSN 0204-3556.
7. Волков, А. А. Определение функции распределения эквивалентного диаметра зерен фильтрующих материалов [Текст] / А. А. Волков, Б. Н. Богданов // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. — 1977. — № 2. — С. 116–119.

Получено 14.02.2012

Н. О. ГУРІНЧИК

ВПЛИВ НЕОДНОРІДНОСТІ ЗАВАНТАЖЕННЯ НА РОБОТУ ШВИДКОГО  
ФІЛЬТРА

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Розглянуто зв'язок між неоднорідністю засипки і тривалістю фільтроциклу. Описана методика розрахунку розподілу засипки по висоті шару. Проілюстровано вплив неоднорідності засипки на експлуатаційні параметри фільтра.

**фільтрування, неоднорідність завантаження, витрата води на власні потреби**

NATALIA GURINCHIK

THE INFLUENCE OF NONHOMOGENITY OF LOAD RATIO ON HIGH CAPACITY  
FILTER WORK

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

The relationship between the nonhomogeneity of load ratio and period of filtration cycle has been observed. Calculation procedure of load balancing up bed depth has been explained. Influence of nonhomogeneity of load ratio on operating factors of filter has been illustrated.

**filtering out, nonhomogeneity of load ratio, water flow for own needs**

**Гурінчик Наталія Олександрівна** — кандидат технічних наук, асистент кафедри водопостачання Одеської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: очищення води фільтруванням.

**Гуринчик Наталья Александровна** — кандидат технических наук, ассистент кафедры водоснабжения Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: очистка воды фильтрованием.

**Natalia Gurinchik** — PhD (Eng.), assistant, Water Supply Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: water purification by filtering out.

УДК 629.7035.7

**Е. С. ГУСЕНЦОВА, Я. А. ГУСЕНЦОВА, А. А. КОВАЛЕНКО, К. Н. АНДРИЙЧУК**  
Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕНТИЛЯТОРА ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНОЙ СИСТЕМЫ**

В статье предложена система регулирования подачи воздуха с помощью адаптивной лопастной системы осевого вентилятора. Предпосылками для создания адаптивной лопастной системы явился детальный анализ задач теории упругости, в частности деформации пластины, стержня и профиля. В предлагаемой конструкции лопатки направляющего и спрямляющего аппаратов, рабочего колеса выполнены из гибких пластин. Это обеспечивает безударный вход потока на лопатки рабочего колеса, направляющего и спрямляющего аппаратов. Минимизация гидравлических потерь, оптимальная работа на переменных режимах повышает эффективность вентиляционной системы в широком диапазоне изменения производительности.

**вентилятор, регулирование, лопастная система, адаптивная лопадка, эффективность работы, переменные режимы, направляющий, спрямляющий аппарат, поворотные лопадки**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Важной характеристикой любой отрасли промышленности, показателями научно-технического уровня и культуры производства является степень экологической безопасности ее предприятий, которая в значительной степени обеспечивается такими инженерно-техническими сооружениями, как вентиляционные системы, обеспечивающие требуемые санитарно-гигиенические нормы в производственных помещениях и при этом требования к соблюдению технологических процессов [1, 2]. Кроме того, обеспечение безопасных условий труда является одним из приоритетных направлений государственной политики [3, 4].

В современных условиях острую актуальность приобретают вопросы совершенствования технологических процессов, связанных с потреблением энергии, улучшением условий труда, повышением экологической безопасности производства. Доля затрат на создание систем вентиляции составляют существенную часть от стоимости сооружений, а затраты по эксплуатации оборудования в ряде случаев для различных отраслей промышленности могут быть 50–60 % от затрат на вспомогательные нужды.

В связи с этим экономичность, надежность и долговечность вентиляционных систем приобретает первостепенное значение.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Изменение производительности вентилятора можно осуществить различными способами [5–8]. Здесь мы остановимся на регулировании с помощью изменения параметров лопастной системы — поворотом лопастей рабочего колеса, поворотом лопаток направляющего аппарата, поворотом лопаток спрямляющего аппарата.

Повысить эффективность таких способов регулирования можно за счет использования адаптивной лопастной системы. При повороте лопаток рабочего колеса, направляющего и спрямляющего аппаратов изменение углов входа и выхода потока ввиду жесткости лопаток происходит на один и тот же угол. Однако для оптимальной работы вентилятора на другом режиме каждое сечение лопатки должно поворачиваться на свой определенный угол, чего нельзя достичь в существующих конструкциях.

Анализ задач теории упругости [9] показал, что при стесненном кручении брусьев каждое сечение поворачивается на определенный угол. Если сечение бруса постоянное, то угол поворота линейно меняется по длине, при переменном сечении или брусьев неоднородного анизотропного состава угол по длине бруса меняется нелинейно. Отметим, что может быть решена и обратная задача — определение изменения сечения бруса по длине по заданным углам поворота каждого сечения. Это явилось предпосылкой для создания адаптивной лопастной системы осевого вентилятора.

## ЦЕЛИ

Целью исследований, проведенных на кафедре «Гидрогазодинамика», является повышение эффективности работы осевых вентиляторов на переменных режимах за счет использования адаптивной лопастной системы.

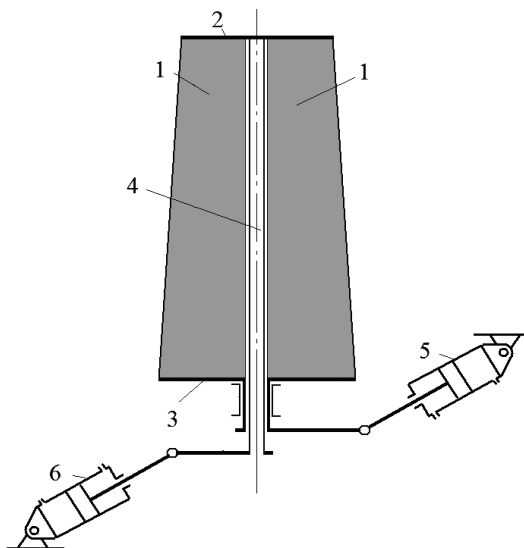
## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

### *Лопатка рабочего колеса осевого вентилятора*

В известных конструкциях осевых вентиляторов лопатка рабочего колеса жестко связана с валом. Вал с помощью поворотного механизма имеет возможность поворачиваться вокруг своей оси, меняя угол входа воздуха на лопатку.

Недостатком такой конструкции является то, что она обеспечивает оптимальную работу вентилятора только на номинальном режиме. При повороте лопатки рабочего колеса с помощью поворотного механизма, который необходим при регулировании производительности вентилятора, оптимальный режим сохраняется только для среднего сечения потока, в то время как остальная часть лопатки работает в неоптимальном режиме. Это существенно уменьшает эффективность процесса регулирования производительности вентилятора и его коэффициент полезного действия.

В предлагаемой конструкции адаптивной лопатки рабочего колеса [10] тело лопатки 1 выполнено из гибкой пластины, один конец которой закреплен к жесткому внешнему профилю 2, а второй — к жесткому внутреннему профилю 3, которые поворачиваются поворотными механизмами 5 и 6 вокруг оси 4 на угол, необходимый для обеспечения оптимальной работы (рис. 1). Поскольку материал лопатки гибкий, поворачивается каждое ее сечение на угол, который совпадает с направлением потока в этом сечении. Это обеспечивает оптимальную работу лопатки рабочего колеса осевого вентилятора и повышает эффективность работы осевого вентилятора и его КПД на переменных режимах.



**Рисунок 1** — Лопатка рабочего колеса осевого вентилятора.

### *Направляющий аппарат осевого вентилятора*

При регулировании производительности осевого вентилятора с помощью обычного направляющего аппарата недостатком является то, что он обеспечивает оптимальную работу вентилятора только на номинальном режиме. При повороте его лопаток с помощью поворотного механизма, ко-

необходим при регулировании производительности вентилятора, оптимальный режим, как и в предыдущем случае, сохраняется только для среднего сечения потока, в то время как остальная часть лопатки работает в неоптимальном режиме, который существенно уменьшает эффективность процесса регулирования производительности вентилятора на переменных режимах и его коэффициент полезного действия.

Если лопатки выполнить из гибкой пластины, один конец которой закрепить неподвижно, а противоположный — поворачивать поворотным механизмом на угол, то, поскольку материал лопатки гибкий, каждое ее сечение поворачивается на угол, который совпадает с направлением потока в этом сечении [11]. Это обеспечивает оптимальную работу направляющего аппарата, что повышает эффективность работы осевого вентилятора и его КПД в целом.

На рис. 2 изображен направляющий аппарат осевого вентилятора, который содержит поворотные лопатки 1, выполненные из гибкой пластины и установленные перед рабочим колесом 2 осевого вентилятора, поворотный механизм 3, позицией 4 обозначен незакрепленный конец лопатки 1.

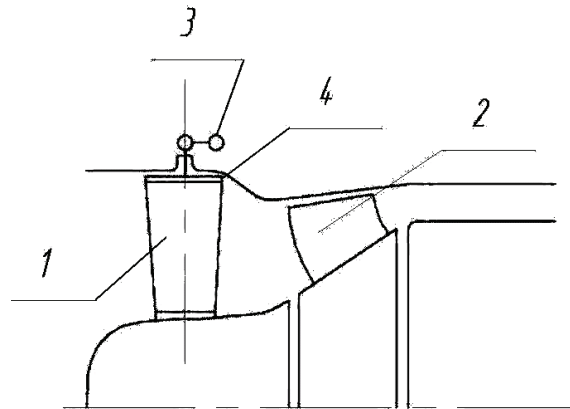


Рисунок 2 — Адаптивный направляющий аппарат осевого вентилятора.

Его работа заключается в следующем. При изменении производительности вентилятора поворотный механизм 3 вращает незакрепленный конец 4 лопатки 1, установленной перед рабочим колесом 2. Поскольку поворотная лопатка 1 выполнена из гибкого материала, поворачивается каждое ее сечение на угол, который совпадает с направлением потока в этом перерезе.

Таким образом, обеспечивается оптимальная работа направляющего аппарата в целом, что повышает эффективность процесса регулирования, повышает эффективность работы осевого вентилятора в целом и его КПД.

#### *Жалюзийный аппарат осевого вентилятора*

В ряде технических устройств спрямляющий аппарат осевого вентилятора выполняет функцию жалюзи, которые закрывают поток воздуха в систему при остановке вентилятора. Примером этого может служить вентиляционная система тепловоза ТЭ114 (рис. 3).

Недостатком такого жалюзийного аппарата есть то, что он обеспечивает изменение производительности воздуха только за счет изменения гидравлического сопротивления, деформируя поток в рабочем колесе, что существенно уменьшает эффективность процесса регулирования производительности вентилятора и его коэффициент полезного действия.

Для устранения этого недостатка его лопатки выполнены профилированными таким образом, что при открытии жалюзийного аппарата угол входа воздуха на них равняется углу выхода воздуха из рабочего колеса, угол выхода из лопатки — осевой, а поворот их осуществляется вокруг осей, расположенных радиально, не деформируя поток воздуха в рабочем колесе [12]. Такая конструкция обеспечивает раскрутку потока воздуха на выходе из рабочего колеса, уменьшает гидравлические потери, связанные с выходом потока.

Работа жалюзийного аппарата осевого вентилятора протекает следующим образом (рис. 4).

При изменении производительности вентилятора поворотный механизм поворачивает профилированные лопатки 2 жалюзийного аппарата вокруг оси 3, установленные радиально за рабочим колесом 1. Поскольку лопатки 1 выполнены профилированными таким образом, что при открытии жалюзийного аппарата угол входа воздуха на них равняется углу выхода воздуха из рабочего колеса



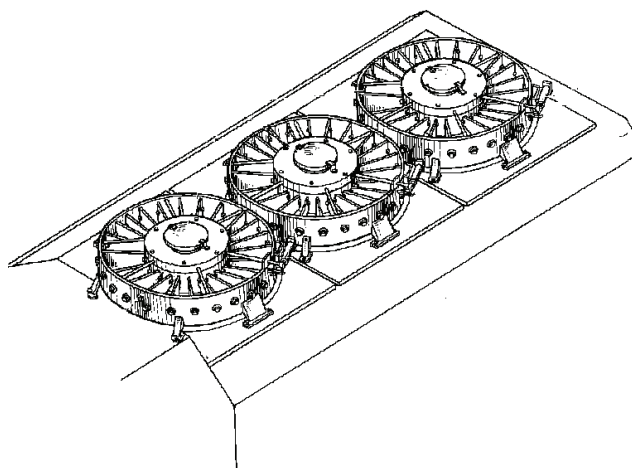


Рисунок 3 — Жалюзийный аппарат тепловоза ТЭ 114.

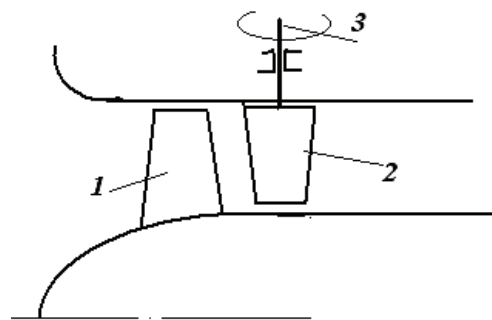


Рисунок 4 — Адаптивный спрямляющий аппарат.

1, угол выхода из лопатки 2 — осевой, лопатки, установленные на оси радиально, не деформируют поток воздуха в рабочем колесе 1 и обеспечивают раскрутку воздуха на выходе.

### ВЫВОДЫ

Используемые в настоящее время методы регулирования производительности вентиляционных установок не в полной мере обеспечивают их эффективность на переменных режимах. Авторами предложена адаптивная проточная часть осевого вентилятора, защищенная рядом патентов Украины. Использование всех трех предложенных конструктивных решений позволяет при регулировании производительности вентиляционной установки сохранить максимальный КПД осевого вентилятора в диапазоне изменения производительности 30–100 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Melhado, M. A. Review of Ventilation Systems [Текст] / M. A. Melhado, J. L. Hensen, M. Loomans // Proceeding of 6<sup>th</sup> Int. Postgraduate Conf. in Built and Human Environment, 6-7 April 2006 / Technische Universiteit Delft, BuHu, University of Stanford. — Stanford, 2006. — P. 478–487.
2. Bakar, M. Z. Control of Smoke Flow in Tunnel Fires Using Ventilation Systems [Текст] / M. Z. Bakar // Fire Safety Journal. — 2000. — Vol. 35, Issue 4. — P. 363–390.
3. Geshwiler, M. Demand Controlled Ventilation Systems [Текст] / M. Geshwiler, D. Harrell, T. Roberson // ASHRAE Transactions: Technical and symposium papers presented at annual meeting in Seattle, Washington of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Mar. 2011 / American Society of Heating, Refrigerating and Air. — Seattle, 2011. — Volume 105. — P. 155–171.
4. Mackler, M. Demand Control Ventilation Systems. Heating [Текст] / M. Mackler, A. Piping // Air-condition. — 1994. — № 87. — P. 71–79.
5. Экк, Б. Проектирование и эксплуатация центробежных и осевых вентиляторов [Текст] / Б. Экк. — М.: ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1959. — 566 с.
6. Центробежные вентиляторы [Текст] / Под ред. Т. С. Соломаховой. — М.: Машиностроение, 1975. — 416 с.
7. Брусиловский, И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов [Текст] / И. В. Брусиловский. — М.: Машиностроение, 1984. — 238 с.
8. Пак, В. В. Шахтные вентиляционные установки местного проветривания [Текст] / В. В. Пак, С. К. Иванов, В. П. Верещагин. — М.: Недра, 1974. — 240 с.
9. Галин, Л. А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости [Текст] / Л. А. Галин. — М.: Наука, 1986. — 304 с.
10. Пат. 55460 Україна, МПК F24F 7/06. Лопать робочого колеса осьового вентилятора [Текст] / Я. А. Гусенцова, А. О. Коваленко, Є. С. Гусенцова, К. М. Дядічев, В. І. Соколов, Г. Ю. Чередниченко, І. Д. Пастушкова; заявник та патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля; заявл. 26.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23. — 4 с.
11. Пат. 55218 Україна, МПК F24F 7/06. Направляючий апарат осьового вентилятора [Текст] / Я. А. Гусенцова, А. О. Коваленко, Є. С. Гусенцова, К. М. Дядічев, В. І. Соколов, А. О. Гушчін, В. В. Бакланов; заявник та патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля; заявл. 20.05.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23. — 4 с.

12. Пат. 35969 Україна, МПК В60J 1/20. Жалюзійний апарат холодильної камери тепловозу [Текст] / Могила В. І., Коваленко А. О., Бараніч Ю. В., Гусенцова Є. С. ; заявник та патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля ; заявл. 05.05.2008 ; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19. — 4 с.

Получено 17.02.2012

**Є. С. ГУСЕНЦОВА, Я. А. ГУСЕНЦОВА, А. О. КОВАЛЕНКО, К. М. АНДРІЙЧУК  
РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯТОРА ЗМІНОЮ  
ПАРАМЕТРІВ ЛОПАТЕВОЇ СИСТЕМИ**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

У статті запропонована система регулювання подачі повітря за допомогою адаптивної лопатевої системи осьового вентилятора. Передумовами для створення адаптивної лопатевої системи з'явився детальний аналіз задач теорії пружності, зокрема деформації пластини, стрижня й профілю. У запропонованій конструкції лопатки апаратів, що спрямляють та направляють течію повітря до робочого колеса, виконані із гнучких пластин. Це забезпечує безударний вхід потоку повітря на лопатки робочого колеса спрямлювального і вирівнювального апаратів. Мінімізація гідравлічних втрат, оптимальна робота на змінних режимах підвищує ефективність вентиляційної системи в широкому діапазоні зміни продуктивності.

**вентилятор, регулювання, лопатева система, адаптивна лопатка, ефективність роботи, змінні режими, спрямлювальний і вирівнювальний апарати, поворотні лопатки**

**ELIZABETH GUSENTOVA, YANA GUSENTOVA, ALIM KOVALENKO,  
KONSTANTIN ANDRIJCHUK  
REGULATION OF PRODUCTIVITY OF THE FAN BY CHANGE OF PARAMETERS  
BLADE SYSTEMS**

Dahl Easten Ukrainian National University

In this paper the system of productivity air's regulation by using of adaptive blade's systems of axial ventilator is offered. Preconditions for creation adaptive blade system were the detailed analysis of problems of the elasticity theory, in particular deformations of a plate, a core and a profile. In an offered construction of directional, straightening blades and fan impeller are executed flexible plates. It provides shock-free entry of stream on blades of the driving wheel directing and straightening devices. Minimization of hydraulic losses, optimum work on variable modes, raises efficiency of ventilating system in a wide range of change of productivity.

**fan, regulation, blade's system, an adaptive blade, an overall performance, the variable modes, the directing device, rotary blades**

**Гусенцова Єлизавета Сергіївна** — аспірант кафедри гідрогазодинаміка Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: математичне моделювання аеродинамічних характеристик систем охолодження з осьовими вентиляторами.

**Гусенцова Яна Алімівна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри вентиляції, теплогазо- та водопостачання Луганського державного інституту житлово-комунального господарства і будівництва Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: розвиток загальної методики і методів удосконалювання опалювально-вентиляційних систем, способів і методів їхнього регулювання. На цій основі підвищення надійності, довговічності та ефективності.

**Коваленко Алім Олексійович** — кандидат технічних наук, професор кафедри гідрогазодинаміки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: моделювання робочих процесів гідравлічних і пневматичних машин.

**Андрійчук Костянтин Миколайович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри вентиляції, теплогазо- та водопостачання Луганського державного інституту житлово-комунального господарства і будівництва Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: розвиток загальної методики і методів удосконалювання опалювально-вентиляційних систем, способів і методів їхнього регулювання. На цій основі підвищення надійності, довговічності та ефективності.

**Гусенцова Елизавета Сергеевна** — аспирант кафедры гидрогазодинамика Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: математическое моделирование аэродинамических характеристик систем охлаждения с осевыми вентиляторами.

**Гусенцова Яна Алимовна** — кандидат технических наук, доцент кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения Луганского государственного института жилищно-коммунального хозяйства и строительства Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: развитие общей методики и методов совершенствования отопительно-вентиляционных систем, способов и методов их регулирования. На этой основе повышение надежности, долговечности и эффективности.

**Коваленко Алим Алексеевич** — кандидат технических наук, профессор кафедры гидрогазодинамики Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: моделирование рабочих процессов гидравлических и пневматических машин.

**Андрійчук Константин Николаевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения Луганского государственного института жилищно-коммунального хозяйства и строительства Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: развитие общей методики и методов совершенствования отопительно-вентиляционных систем, способов и методов их регулирования. На этой основе повышение надежности, долговечности и эффективности.

**Elizabeth Gusentsova** — post-graduate student, HydroGasDynamic Department, Dahl Easten Ukrainian National University. Scientific interests: mathematical simulation of aerodynamic characteristics of cooling systems with axial fans.

**Yana Gusentsova** — PhD (Eng.), associate professor of Ventilation, Heat and Water Supply Department, Lugansk State Institute of Housing and Utility Services and Building Dahl Easten Ukrainian National University. Scientific interests: development of the general technique and methods of calculation systems of ventilation, strategies and tactics of their regulating process.

**Alim Kovalenko** — PhD (Eng.), associate professor of HydroGasDynamic Department, Dahl Easten Ukrainian National University. Scientific interests: simulation of working processes of hydraulic and pneumatic devises.

**Konstantin Andriychuk** — PhD (Eng.), associate professor of Ventilation, Heat and Water Supply Department, Lugansk State Institute of Housing and Utility Services and Building, Dahl Easten Ukrainian National University. Scientific interests: development of the general technique and methods of calculation systems of ventilation, strategies and tactics of their regulating process. Thereupon the reliability growth, life duration and efficiency effect.

УДК 622.882:624.135

**Т. Н. ТКАЧЕНКО, С. В. САВЕНКОВА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ ШАХТЫ ИМ. АРТЕМА Г. ДЗЕРЖИНСКА**

В работе рассматривается проблема фиторекультивации породных отвалов. Предлагается существенное снижение экономических затрат с помощью метода частичной биологической рекультивации. **рекультивация, породный отвал, экотоп, эдафотоп, картирование**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Породные отвалы представляют большую экологическую опасность: имеют ядовитые испарения и стоки, самовозгорания и обвалы. Опасность представляют даже негорящие отвалы: выделение газов, пыление, радиоактивность, вымывание солей. Они ухудшают условия проживания людей, являются причинами возникновения и развития хронических заболеваний. С целью уменьшения негативного влияния на окружающую природную среду нужно проводить мероприятия по ликвидации или рекультивации породных отвалов [1, 2]. Известно, что в Донбассе озеленено около 100 отвалов, что составляет менее 10 % от их общего количества. Поэтому необходимость и важность рекультивации породных отвалов очевидна [3]. Разработка модели биологической рекультивации промышленных отвалов, в нашем случае, стала особенно актуальной в связи с ликвидацией шахты им. Артема г. Дзержинска.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В научных исследованиях работников Донецкого ботанического сада НАН Украины С. П. Жукова, В. Г. Башкатова, И. В. Агурова начато решение данной проблемы.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

На основе полученных данных картирования территории отвалов использовать новый подход к рекультивации промышленно-нарушенных территорий, который заключается в использовании метода частичной биологической рекультивации отвала, что позволит в значительной степени экономить расходы на его рекультивацию, а также использовать процесс естественного зарастания отвала.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Работы по технической и биологической рекультивации проводятся во многих промышленно развитых странах: США, Англия, Швейцария, Польша, Германия, Австрия, Болгария и др. Установлено, что 1 га лесонасаждений на отвалах задерживает в год от 1,4 до 2,1 т пыли и усваивает до 90 кг сернистого газа, до 150 кг окислов азота и 190 кг CO, поэтому вопрос рекультивации таких территорий является бесспорным [4].

Существует три основных способа ликвидации отвалов: обратная засыпка шахты породой; вывоз за пределы города и засыпка карьеров; использование породы в строительстве. В рамках последнего способа ликвидации к Евро 2012 города планируется снести половину из существующих сегодня терриконов в городе Донецке. Горная масса будет использоваться в строительных работах. В первую очередь, речь идет о строительстве дорог и расширении Донецкого аэропорта.

© Т. Н. Ткаченко, С. В. Савенкова, 2012

При невозможности полной ликвидации используется метод рекультивации. Под рекультивацией земель можно понимать комплекс работ, направленных на восстановление биологической продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды [5]. Важность этих мероприятий является бесспорной [6–8].

Различают техническую и биологическую рекультивацию. Технический этап рекультивации трудоемкий и дорогой. На него приходится до 80 % общих затрат. Он обеспечивает эффективность биологической рекультивации и дальнейшего целевого использования. Технический этап рекультивации на отвалах шахты им. Артема предусматривает снижение экономических затрат за счет отсутствия затрат на подготовку почвенного субстрата, потому что почвосмесь для перекрытия породы высвобождается в ходе подготовки территории для выполаживания. Выполаживание откосов и склонов — механическое выравнивание откосов выработок до заданного уклона и проведения механизированных мелиоративных работ. Уменьшение углов откосов отвалов и бортов горных выработок делается с целью предотвращения размыва, оползневых явлений, водной и ветровой эрозий. А биологическая рекультивация включает мероприятия по восстановлению плодородия отвалов, их озеленение [9]. В нашем случае фитореккультурация породного отвала осуществлялась по заказу ГП Днепрогипрошахт.

Объект исследования — отвалы и промплощадка шахты им. Артема, расположенные на окраине г. Дзержинска (рис. 1), представляющих несколько отвалов разного возраста, объединенные в процессе тушения породы, частично с участками, видимо прошедшими биологическую рекультивацию или естественно заросшими тополем, осиной и другими породами, которые дали самосев и корневую поросль. С разных сторон отвал граничит с территориями с древесно-кустарниковым озеленением, что обеспечивает постоянный занос семян с окружающих территорий зоохорным и анемохорным путем.

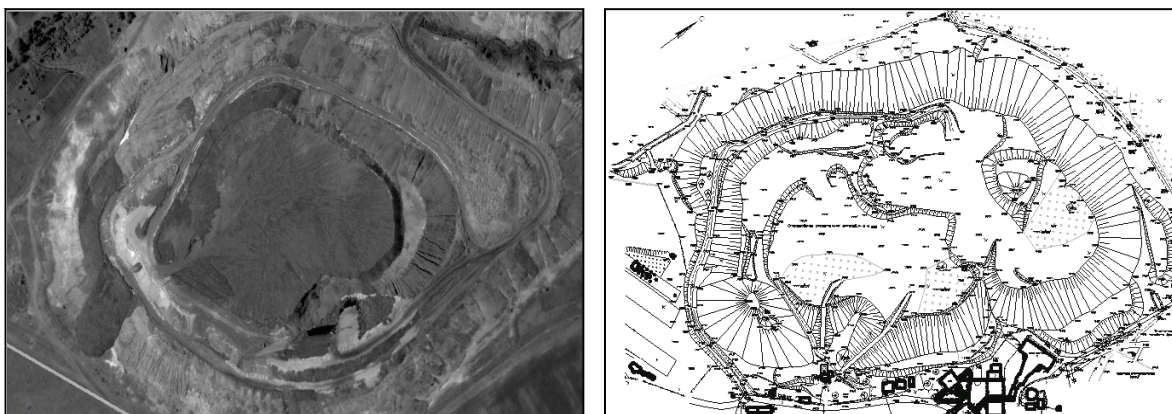


Рисунок 1 — План породного отвала шахты им. Артема.

В прошлом году мы провели дополнительные исследования с целью картирования территории и пришли к выводу, что многие участки естественно заросли и не требуют дополнительной рекультивации. В своей работе мы предлагаем рекультивировать не всю территорию отвала, а лишь определенную часть, где обнаженные участки составляют более 40 % площади. Общая площадь террикона 230 000 м<sup>2</sup>, мы предлагаем площадь под рекультивацию равную 32 164 м<sup>2</sup>, т. е. практически 14 % от общей площади. При этом используется новый подход к рекультивации промышленно — нарушенных территорий, который заключается в применении метода частичной рекультивации отвала, т. е. исключаются территории с естественным зарастанием.

Исследования по изучению эдафотопы отвала проводились совместно с отделом фитоэкологии растений Донецкого ботанического сада НАН Украины. Известно, что лимитирующими факторами для успешной фитореккультурации отвалов является : низкий показатель pH, сильная засоленность (рис. 2) и недостаток влаги. Поэтому данные исследования имеют большое практическое значение. Данные представлены в таблице. Из свойств субстрата наиболее важными индикаторами пригодности для роста растений на отвалах угольных шахт, а также и в других техногенных экотопах являются показатель pH субстрата, а также степень засоленности.



Рисунок 2 — Участок засоления в результате смыва солей с отвала.

Таблица — Реакция раствора породы

№ участков	pH водн	Реакция почвенного раствора
1	5,53	слабокислая
2	4,32	сильнокислая
3	5,65	близкая к нейтральной
4	4,88	среднекислая
5	4,65	среднекислая
6	6,40	нейтральная
7	4,63	среднекислая
8	5,67	близкая к нейтральной
9	5,32	слабокислая
10	6,46	нейтральная
11	6,63	нейтральная
12	4,82	среднекислая
13	6,61	нейтральная

По совокупности агрохимических показателей изученные экотопы отвалов имеют разную степень развития. На отвале шахты им Артема неблагоприятные условия складываются на участках 1, 2, 4, 5, 7, 9, 12. На остальных же участках значение pH приближается к нейтральному или слабнокислому, что является благоприятным фактором для произрастания растений и дальнейшей фиторекультивации.

При посадках на отвалах одним из первоочередных вопросов является выбор посадочного материала. Для создания растительного покрова на отвалах в первую очередь используют растения, обладающие мелиоративными свойствами, способные в значительной степени изменять среду обитания в лучшую сторону.

В связи с большим разнообразием экологических условий на отвалах устойчивый растительный покров нельзя создать из одного вида и даже жизненной формы растений (деревьев, кустарников, трав). На крутых склонах отвалов эффективна посадка древесных и кустарниковых растений с мощной и глубоко проникающей корневой системой, которая лучше противостоит смещению породы и механическим повреждениям. На плоских вершинах, а также на полотно террас и ровных выкопанных участках лучшие результаты получаются при посеве многолетних трав.

Высадка растений предлагается в три яруса. Первый ярус — древесные породы растений: ясень обыкновенный, вяз мелколистный, рябина обыкновенная, робиния псевдоакация, клён ясенелистный, лох узколистный. Второй ярус — кустарники: жимолость татарская, снежногидник, свидина, скумпия кожевенная, бирючина обыкновенная. Третий ярус — травянистые растения: злаковые, степные растения; вейник наземный, донник белый, донник лекарственный, эспарцет песчаный, пырей средний, пырей ползучий.

Деревья высаживаются рядами с расстоянием в ряду 1 м и междурядьями 2,5 м, кустарники высаживаются с расстоянием в ряду 0,5–0,7 м и междурядьями 2,5 м. В насаждениях чередуются 2–3 ряда деревьев и 1 ряд кустарников.



На территории, где произошло естественное зарастание, проводится лишь посадка отдельных видов растений, обуславливающих развитие растительного покрова на отвале.

## ВЫВОДЫ

В своей работе мы предлагаем использовать новый подход к рекультивации промышленно нарушенных территорий, который заключается в использовании метода частичной рекультивации отвала, что позволит нам в значительной степени сэкономить расходы на его рекультивацию. В перспективах дальнейшего развития в данном направлении является составление экономической оценки рекультивации данного отвала и создание наглядной 3D модели рекультивированного отвала. В дальнейшем породные отвалы можно рассматривать как места ближнего отдыха, находящиеся внутри городов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов, К. Н. Мелиоративная география [Текст] : Учебник / К. Н. Дьяконов, В. С. Аношко. — М. : Изд-во МГУ, 1995. — 254 с.
2. Башкатов, В. Г. Промышленная ботаника [Текст] / В. Г. Башкатов. — Донецк : Донецкий ботанический сад НАН Украины, 2006. — 216 с.
3. Кондратюк, Е. Н. Промышленная ботаника [Текст] / Е. Н. Кондратюк. — К. : Наукова думка, 1980. — 257 с.
4. Объекты рекультивации в системе экологического мониторинга [Текст] / Б. И. Логинов, Ю. Н. Попа, А. В. Козак [и др.] // Растения и промышленная среда : Тез. докл. 1-й Всесоюз. науч. конф. / Под редакцией Е. Е. Качура. — Днепропетровск : Изд-во ДГУ, 1990. — С. 233—234.
5. Чибрик, Т. С. Восстановление фиторазнообразия на промышленных отвалах [Текст] / Т. С. Чибрик // Проблемы ботаники на рубеже 20—21 вв. : тезисы докладов, представл. 2 (10) Съезду рус. бот. о-ва, Санкт-Петербург, 26—29 мая, 1998. Т. 1 / Под редакцией В. А. Павлова. — СПб. : Изд-во С.-Петерб., 1998. — С. 323.
6. Charley, James L. Plant-induced soil chemical patterns in some shrub-dominated semi-desert ecosystems of Utah [Текст] / Charley James L., West Neil E. // J. Ecol. — 1975. — № 3. — P. 945—963.
7. Frankard, Philippe. Aperçu de la flore et de la végétation des terrils de la région lilloise [Текст] / Frankard Philippe // Bull. Soc. roy. sci. Liege. — 2000. — Volume 69, № 5. — P. 265—287.
8. Russel, E. J. Rehabilitation of devastated areas [Текст] / E. J. Russel // J. British association for the advancement of science. — 1951. — № 12. — P. 205—210.
9. Потапова, Л. В. Рекультивация нарушенных промышленностью земель, как один из аспектов рационального использования природных ресурсов [Текст] / Л. В. Потапова, А. И. Лукьянец // Изучение природы, хозяйства и населения Сибири : Тез. науч. конф. / Под редакцией С. А. Лукина. — Иркутск : Наука, 1975. — С. 193—194.

Получено 23.02.2012

Т. М. ТКАЧЕНКО, С. В. САВЕНКОВА  
РОЗРОБКА МОДЕЛІ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ  
ВІДВАЛІВ ШАХТИ ІМ. АРТЕМА М. ДЗЕРЖИНСЬКА  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У роботі розглядається проблема фіторекультивациі породних відвалів. Пропонується суттєве зниження економічних витрат за допомогою методу часткової біологічної рекультивациі.  
**рекультивация, породний відвал, екоотоп, едафотоп, картування**

TATIANA TKACHENKO, SVETLANA SAVENKOVA  
DEVELOPMENT OF MODEL OF THE BIOLOGICAL  
RECUULTIVATION OF INDUSTRIAL MINE DUMPS OF COAL-MINE NAMED  
AFTER ARTEM, DZERZHINSK  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The work is devoted to the problem of waste dump. Considerable reduction of economical costs using the method of partial biorecultivation is proposed.  
**reclamation, waste dump, ecotope, edafotop, mapping**

**Ткаченко Тетяна Миколаївна** — кандидат біологічних наук, доцент, заступник директора Інституту міського господарства та охорони навколишнього середовища Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: рекультивація породних відвалів, дахове озеленення.

**Савенкова Світлана Володимирівна** — студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: рекультивація породних відвалів.

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

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

**Tatiana Tkachenko** — PhD., associate professor; deputy director, Public Utilities and Environment Protection Institute, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reclamation of waste dump, greening roofs.

**Svetlana Savenkova** — student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reclamation of waste dump.



УДК 632.15

**А. С. ТОЛСТЫХ<sup>а</sup>, З. В. УДОВИЧЕНКО<sup>б</sup>, А. О. ВАСИЛЬЕВ<sup>а</sup>, Л. А. КУБРАК<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> Донецкий национальный университет экономики и торговли, <sup>б</sup> Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ NO<sub>x</sub> С ПОЛУЧЕНИЕМ АЗОТИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ**

В статье показаны результаты экспериментов по поглощению торфом оксидов азота при различных соотношениях оксида азота к диоксиду азота в газовой смеси. Исследована адсорбционная способность различных марок торфа по отношению к NO<sub>x</sub>. Изучено изменение средней степени улавливания в зависимости от соотношения NO + NO<sub>2</sub> в газе.

**оксиды азота, нитрозность газа, поглощающая способность, торф, степень адсорбции**

Широко известен факт пагубного влияния оксидов азота на окружающую среду и, прежде всего, на биосферу, включая человека. Оксиды азота токсичны для людей, являясь одним из источников респираторных заболеваний; кроме того они негативно воздействуют на растительный и животный мир, выпадая в виде кислотных дождей, после соединения с атмосферной влагой. Причем такого рода осадки не только наносят вред сельскому хозяйству, но и имеют коррозионное действие на технические объекты.

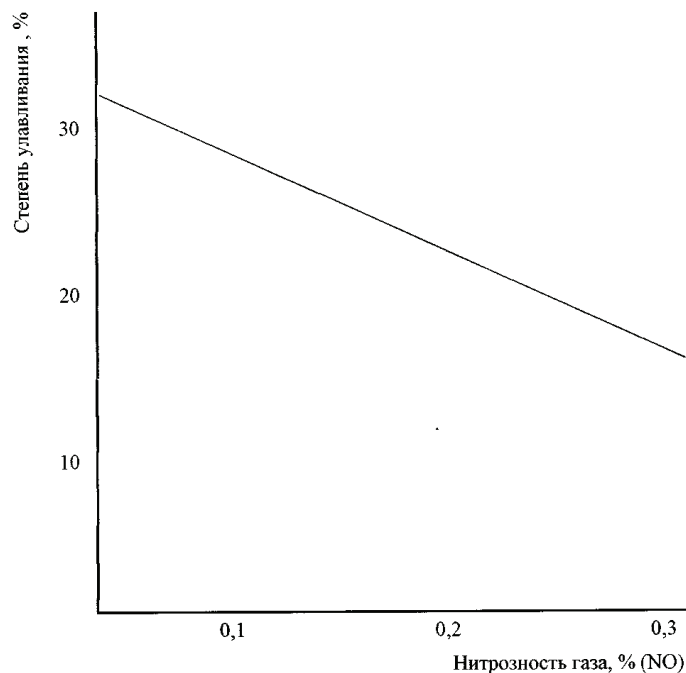
В настоящее время известны многие способы снижения выбросов NO<sub>x</sub> в окружающую среду. Среди прочих определен интерес локального применения имеет способ адсорбционного улавливания оксидов азота с применением торфа или торфощелочных сорбентов. Данные методы пригодны для очистки низкопроцентных нитрозных выбросов, в основном, в местах торфяных залежей. Торф является хорошим сорбентом и довольно интенсивно поглощает окислы азота; при этом, благодаря присутствию в газе кислорода и окислов азота, значительная часть углерода торфа окисляется до хорошо усвояемых растениями гуминовых кислот, т. е. дополнительным плюсом метода, кроме очистки, — является получение торфоазотных удобрений.

Особый интерес данная технология представляет в условиях Украины, где выявлено и разведано 1 562 торфяных месторождения с общими запасами 1 853 млн тонн, а общая их площадь составляет — 639,5 тыс. га. Наибольшие ресурсы торфа сосредоточены в северных регионах страны (на Полесье) — Волынской, Ровенской, Сумской, Черниговской и Житомирской областях. На их территории выявлены и разведано 1 056 месторождений, запасы которых составляют 1 160 млн т. В настоящее время в Украине разрабатываются около 500 месторождений торфа. Около 81 % добытого в Украине торфа используется как топливо, а 19 % — в качестве удобрений.

Ранее в СССР проводился ряд интересных исследований, посвященных этим методикам, но в последние два десятилетия, исследования прекращены. Однако следует отметить, что в развитых зарубежных странах, этому вопросу по-прежнему уделяется значительное внимание, учитывая простоту и многогранный положительный эффект.

Нами был проведен ряд экспериментальных исследований, направленных на изучение данного способа с применением в качестве сорбента отечественного торфа. Исследовалось поглощение нитрозных газов низких концентраций 0,2–0,4 %. В качестве адсорбционной колонны использовалась металлическая труба диаметром 50 мм. Загруженный слой торфа фиксировался с двух сторон решетками (свободное сечение — 0,8), что исключало унос адсорбента из колонны. В опытах использовался торф с влажностью порядка: 50, 60 и 70 %. Опыты проводились при комнатной температуре (около 18–20 °С). Газовый состав фиксировался газоанализатором.

Экспериментально определено, что диоксид азота никогда полностью не улавливался. При адсорбции наблюдалась следующая тенденция: при малых объемных расходах газа  $Q$  степень улавливания во времени уменьшалась незначительно, а при высоких — значительно быстрее. Через определенное время происходило насыщение адсорбента. Данный период принят за время работы торфа. Исследования подтверждались при концентрациях  $\text{NO}_2$  в газе 0,1 и 0,3 %. В процессе опытов установлено, что степень улавливания  $\text{NO}_2$  торфом не зависит от его начальной концентрации (в диапазоне 0,1–0,3 %), а лишь изменяется время работы торфа (уменьшается при концентрации 0,5 % и увеличивается при концентрации 0,1 %). На рис. 1 представлена зависимость средней степени улавливания окиси азота (без предварительного окисления) от его загрузки до момента выгрузки 6–7 часов работы.



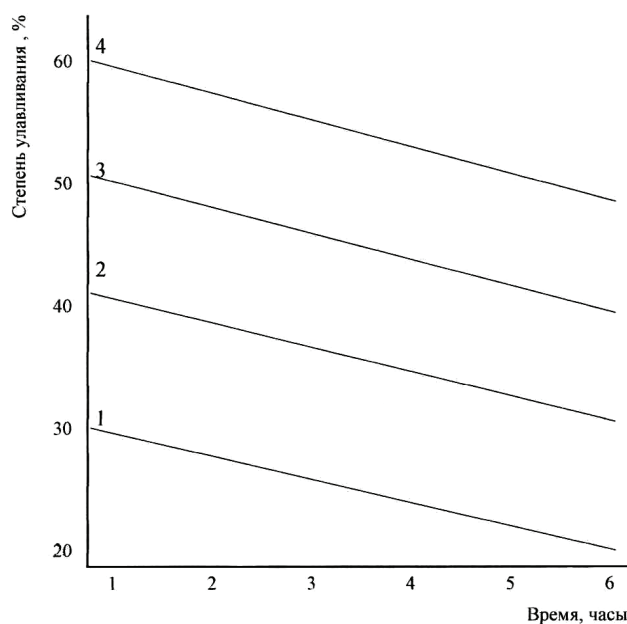
**Рисунок 1** — Зависимость средней степени улавливания NO от нитрозности газа при ( $Q = 2\,500\text{ м}^3/\text{т.час}$  и  $w = 0,1\text{ м/с}$ ).

Из рисунка видно, что степень поглощения NO торфом уменьшается с возрастанием концентрации оксида азота в газе. Несмотря на низкую эффективность адсорбции NO торфом, следует отметить, что она все-таки выше, чем у жидких абсорбентов.

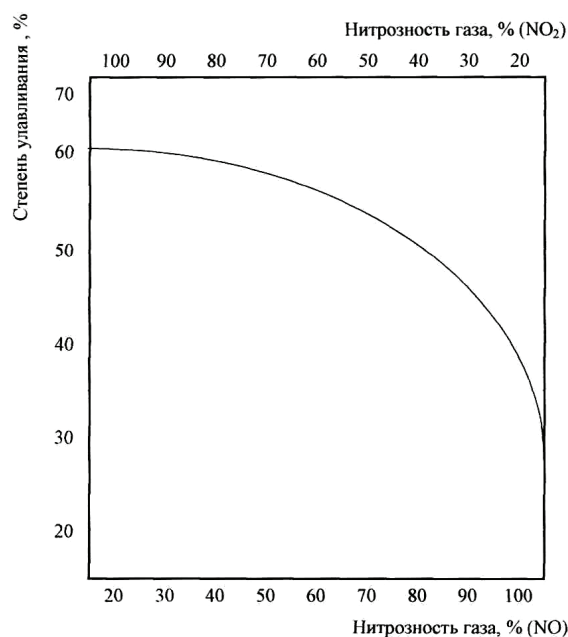
Последующие эксперименты проводились с использованием газовой смеси содержащей NO :  $\text{NO}_2$  в соотношениях от 1 : 1 до 5 : 1. Опыты проводили при  $Q = 2\,500\text{ м}^3/\text{т.час}$  и  $w = 0,1\text{ м/с}$  и  $0,2\text{ м/с}$ . Начальные концентрации оксидов азота в газе равнялись 0,2 и 0,3 %. Как видно из рис. 2, степень улавливания оксидов азота торфом заметно уменьшается с увеличением доли содержания NO в содержащейся в газе смеси NO+ $\text{NO}_2$ .

Рисунок 2 наглядно показывает, что максимальная степень улавливания, равная 60 %, достигается при полном окислении NO в  $\text{NO}_2$ . С понижением окисленности газа средняя степень адсорбции оксидов азота уменьшается до 22 % для газа, содержащего только NO. При этом уменьшение степени поглощения для смеси NO +  $\text{NO}_2$  по сравнению с диоксидом азота не так велико, как для чистого монооксида азота по сравнению со смесью.

Кривая, изображенная на рис. 3, является обобщением результатов всех опытных данных и поэтому показательна для поглощающей способности исследованных сортов торфа при любом соотношении NO к  $\text{NO}_2$ . При  $w = 0,1\text{ м/с}$  и соотношении NO :  $\text{NO}_2 = 3 : 1$  величина степени улавливания, колеблющаяся от 45 до 37 %, примерно одинакова для всех трех видов торфа. Аналогичные результаты были получены при использовании в качестве поглотителей и некоторых других сортов торфа.



**Рисунок 2** — Изменение средней степени улавливания в зависимости от соотношения  $\text{NO} + \text{NO}_2$  в газе во времени (нитрозность газа 0,2 %;  $Q = 2\,500 \text{ м}^3/\text{т.час}$  и  $w = 0,1 \text{ м/с}$ ; 1 —  $\text{NO}$ ; 2 —  $\text{NO} : \text{NO}_2 = 3 : 1$ ; 3 —  $\text{NO} : \text{NO}_2 = 1 : 1$ ; 4 —  $\text{NO}_2$ ).



**Рисунок 3** — Зависимость средней степени улавливания оксидов азота от окисленности нитрозных газов (нитрозность газа 0,2 %;  $Q = 2\,500 \text{ м}^3/\text{т.час}$  и  $w = 0,1 \text{ м/с}$ ).

Время работы одной навески торфа 6–7 часов. Полученные результаты указывают на возможность поглощения торфом 35–87 % оксидов азота, содержащегося в отходящих газах.

Продувка отработанного торфа показала, что он прочно удерживает оксиды азота. Получаемый азотируемый торф можно использовать в качестве местного азотного удобрения. Для улавливания оксидов азота с использованием торфа можно предложить следующую схему. Торф нагружается в две параллельно работающие колонны. После того как наступает время насыщения торфа в одной из колонн (через 6–7 часов), газовый поток переключается на вторую колонну, а торф из первой

колонны выгружается и заменяется новым. Для улучшения поглощения и более прочной связи оксидов азота с торфом рекомендуется его орошать в колонне аммиачной водой. При этом выгружаемая масса не имеет запаха оксидов азота и является транспортабельной. В одной тонне ее содержится 0,11 т общего веса.

Общими выводами по проведенным исследованиям можно считать:

1. Торф может использоваться для частичного улавливания оксидов азота из технологических газов.
2. Отработанный торф может применяться в качестве удобрений.
3. Степень адсорбции зависит от соотношения  $\text{NO}$  к  $\text{NO}_2$  в отходящих газах, при этом средняя степень улавливания при расходе газа 2 500 м<sup>3</sup>/час на одну тонну торфа колеблется от 22 % (для  $\text{NO}$ ) до 60 % (для  $\text{NO}_2$ ).
4. Поглощающая способность торфа зависит от его качества и марки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Frahklín, R. I. Aspects of cleaning of gases by peat [Текст] / R. I. Frahklín, K. L. Rosental, P. W. Rawdon // Municipal economy. — 2002. — № 1, V. 3. — P. 37–42.
2. Frahklín, R. I. Peat as sorbent at cleaning of nitrous gases [Текст] / R. I. Frahklín, K. L. Rosental, P. W. Rawdon // Municipal economy. — 2005. — № 4, V. 1. — P. 19–26.
3. Rawdon, P. W. Cleaning of technological gases from the oxides of nitrogen [Текст] / P. W. Rawdon // Municipal economy. — 2006. — № 2, V. 1. — P. 31–39.
4. Dibelli, K. Thin cleaning of gases, containing the oxides of nitrogen [Текст] / K. Dibelli // Adsorption and adsorbents. — 2001. — № 1, V. 11. — P. 75–86.
5. Melone, P. J. Research of different sorbents for cleaning from  $\text{NO}_x$  [Текст] / P. J. Melone, D. B. White // Adsorption and adsorbents. — 2009. — № 4, V. 1. — P. 33–46.

Получено 23.02.2012

#### А. С. ТОЛСТИХ <sup>а</sup>, З. В. УДОВИЧЕНКО <sup>б</sup>, О. О. ВАСИЛЬЄВ <sup>а</sup>, Л. А. КУБРАК <sup>а</sup> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД $\text{NO}_x$ З ОТРИМАННЯМ АЗОТОВАНИХ ДОБРИВ

<sup>а</sup> Донецький національний університет економіки і торгівлі, <sup>б</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті показані результати експериментів по поглинанню торфом оксидів азоту при різних співвідношеннях оксиду азоту до діоксиду азоту в газовій суміші. Досліджена адсорбційна здатність різних марок торфу по відношенню до  $\text{NO}_x$ . Вивчено зміну середньої міри уловлювання залежно від співвідношення  $\text{NO} + \text{NO}_2$  в газі.

**оксиди азоту, нітрозність газу, поглинальна здатність, торф, міра адсорбції**

#### ANDREI TOLSTYKH <sup>а</sup>, ZLATA UDOVICHENKO <sup>б</sup>, ALEKSEJ VASILEV <sup>а</sup>, LIUDMYLA KUBRAK <sup>а</sup> EXPERIMENTAL RESEARCH OF CLEANING OF GASES FROM $\text{NO}_x$ WITH A RECEIPT OF NITRIDED FERTILIZERS

<sup>а</sup> Donetsk National University of Economics and Trade, <sup>б</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In the article the results of experiments on absorption of nitric oxide by peat at different correlations of nitric oxide in gas mixture. The adsorbitivity of different brands of peat in relation to  $\text{NO}_x$  has been analysed. It has been examined that the change of middle degree of catching depending on correlation of  $\text{NO} + \text{NO}_2$  in gas.

**nitric oxide, nitrous gas, absorbing ability, peat, degree of adsorption**

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

**Удовиченко Злата Вікторівна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадні технології в системах ТГВ, підвищення ефективності експлуатації систем газопостачання.

**Васильєв Олексій Олегович** — асистент кафедри екології і фізики Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Наукові інтереси: очищення технологічних газів, які відходять, від пилу і хімічних шкідливостей.

**Кубрак Людмила Анатоліївна** — студентка Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Наукові інтереси: очищення технологічних газів, які відходять, від пилу і хімічних шкідливостей.

**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.

**Удовиченко Злата Викторовна** — кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах ТГВ, повышение эффективности эксплуатации систем газоснабжения.

**Васильев Алексей Олегович** — ассистент кафедры экологии и физики Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Научные интересы: очистка отходящих технологических газов от пыли и химических вредностей.

**Кубрак Людмила Анатольевна** — студентка Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Научные интересы: очистка отходящих технологических газов от пыли и химических вредностей.

**Andrei Tolstykh** — PhD (Eng.), associate professor, Ecology and Physics Department, M. Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Scientific interests: cleaning of technological off-gas from a dust and chemical harm.

**Zlata Udovichenko** — PhD (Eng.), associate professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy saving technologies in the heat, gas supply and ventilation systems, increasing usages efficiency of the gas supply systems.

**Aleksej Vasilev** — assistant, Ecology and Physics Department, M. Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Scientific interests: cleaning of technological off-gas from a dust and chemical harm.

**Liudmyla Kubrak** — student, M. Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Scientific interests: cleaning of technological off-gas from a dust and chemical harm.

УДК 536.7:621.1

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

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В МЕТАНТЕНКЕ ПРИ СБРАЖИВАНИИ НЕПЕРЕМЕШИВАЕМОЙ БИОМАССЫ**

Рассмотрен процесс газообразования в метантенке и барботажа сбраживаемой массы пузырьками образовавшегося биогаза. Выполнен анализ влияния всплывания пузырьков биогаза на процесс теплообмена между сбраживаемой массой и внутренними поверхностями метантенка.  
**барботаж, скорость всплывания, работа перемешивания, интенсивность теплообмена**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Одним из видов альтернативного газообразного топлива в современных условиях является биогаз, получаемый путём анаэробного сбраживания биомассы в метантенке (МТ). Сырьём для получения биогаза могут быть различные органические отходы, в частности образующиеся на животноводческих фермах.

Технология получения биогаза предусматривает поддержание в МТ стабильной температуры сбраживания, которая превышает температуру окружающей среды. Для постоянного подогрева сбраживаемой массы (СМ) МТ оборудуется специальными устройствами, в которых в качестве греющего теплоносителя используется вода, нагреваемая в котельных агрегатах за счет сжигания части биогаза [1]. Теплота греющего теплоносителя воспринимается СМ, а также отводится в окружающую среду через стенки МТ.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ**

Для интенсификации процесса теплообмена между нагретой водой и СМ, а также массообмена при образовании биогаза в МТ для перемешивания содержимого применяют специальные устройства различной конструкции (механические, гидравлические, пневматические) [2, 3]. Перемешивание СМ осуществляется 1–6 раз в сутки.

Вопросы теплообмена в МТ при перемешивании СМ рассмотрены ранее [4, 5, 6]. В условиях отсутствия перемешивания образование биогаза продолжается, но механизм переноса теплоты в СМ изменяется. В работах по сбраживанию биомассы этому вопросу не уделяется внимания [3, 7]. Поэтому целесообразно разработать методику расчета процессов теплообмена в новых условиях.

### **ЦЕЛЬ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Настоящая работа посвящена изучению особенностей теплообмена СМ с нагревателем (змеевиком), цилиндрической стенкой и днищем МТ в условиях отсутствия перемешивания при барботаже СМ пузырьками образующегося биогаза.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Решение поставленной задачи выполнялось с учётом состава биогаза, теплофизических характеристик СМ в зависимости от температуры и размеров МТ, полученных в работе [8]. Биологические процессы образования биогаза в работе не рассматривались.

Пузырьки биогаза образуются на днище, стенках МТ и твердых частицах СМ, на которых имеются поры радиусом  $R_p$ , являющиеся центрами их зарождения.

© В. А. Сербин, О. В. Чеботарева, Н. В. Колосова, 2012

Отрыв пузырьков биогаза от мест образования возможен при условии, что их диаметр  $d_o$  превышает критический  $d_{кр}$ .

Для определения величины  $d_o$  в условиях эксплуатации МТ [6] использовали уравнения [9, 10, 11]:

$$d_o = 2 \cdot \left[ \frac{3}{2} \cdot \frac{R_n \cdot \sigma}{g \cdot (\rho_{см} - \rho_{био})} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

$$d_o = 0,02 \cdot \theta \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_{см} - \rho_{био})}}, \quad (2)$$

где  $R_n$  — радиус кромки микровпадины, м;  
 $\sigma$  — поверхностное натяжение СМ, н/м;  
 $\rho_{см}$  — плотность СМ при температуре сбраживания, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{био}$  — плотность биогаза в пузырьке, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  
 $\theta$  — угол смачивания, град.

Для расчета поверхностного натяжения СМ использовали зависимость, полученную автором [3]:

$$\sigma \cdot 10^3 = 119,96 - 1,69 CB - 0,02 T, \quad (3)$$

где  $CB$  — содержание сухого вещества в СМ, %;  
 $T$  — абсолютная температура сбраживания, К.

В условиях работы [8] при  $CB = 10$  % и  $T = 313$  К поверхностное натяжение, принятое для дальнейших расчетов, составило  $\sigma_{см} = 96,8 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

Плотность биогаза  $\rho_{био}$ , пузырьки которого образуются на днище МТ, может быть определена из уравнения состояния идеального газа:

$$\frac{p_{био}}{\rho_{био}} = R_{био} \cdot T, \quad (4)$$

где  $R_{био}$  — газовая постоянная биогаза, Дж/(кг·град);  
 $p_{био}$  — давление в пузырьке, Па.

Давление  $p_{био}$  включает в себя барометрическое давление  $B$  и давление столба жидкости над пузырьком  $\rho_{см} \cdot g \cdot H$ , т. е.:

$$p_{био} = B + \rho_{см} \cdot g \cdot H_{см}. \quad (5)$$

Для принятых условий [8]  $B = 740$  мм рт. ст., максимальная высота СМ  $H_{см} = 5,9$  м,  $\rho_{см} = 1010,9$  кг/м<sup>3</sup>. Известно, что биогаз состоит, в основном, из двух газов  $CH_4$  и  $CO_2$ .

Тогда:

$$R_{био} = r_{CH_4} \cdot \mu_{CH_4} + r_{CO_2} \cdot \mu_{CO_2}, \quad (6)$$

где  $r_{CH_4}$ ,  $r_{CO_2}$  — объёмные доли  $CH_4$  и  $CO_2$  в биогазе;  
 $\mu_{CH_4} = 16$  и  $\mu_{CO_2} = 44$  — молярные массы  $CH_4$  и  $CO_2$ , кг/кмоль.

Значение  $R_{био}$  составило 287,88 Дж/(кг·град).

Угол смачивания СМ поверхностей МТ принят таким же, как для воды ( $\theta = 50^\circ$ ) [11].

Отрывные диаметры пузырьков биогаза, рассчитанные по уравнениям (1) и (2) составили соответственно 3,88 и 3,25 мм.

В процессе всплывания пузырька в изотермических условиях давление столба СМ уменьшается, а его объём увеличивается.

Диаметр пузырька в момент всплывания может быть определён по уравнению [10]:

$$d_{всп} = 2 \cdot \left( \frac{m_{пуз} \cdot R_{био} \cdot T}{0,34 \cdot \pi \cdot p_{био}} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (7)$$

где  $m_{пуз}$  — масса пузырька биогаза, кг.

Масса пузырька может быть рассчитана по формуле:

$$m_{\text{пуз}} = \rho_{\text{био}} \cdot V_{\text{био}}, \quad (8)$$

В момент отрыва пузырька его объем равен:

$$V_{\text{пуз}} = \frac{\pi}{6} \cdot d_0^3, \quad (9)$$

а плотность составит:

$$\rho_{\text{био}} = \frac{P_{\text{био}}}{R_{\text{био}} \cdot T}. \quad (10)$$

Принимая, что пузырьки газа при отрыве имеют форму шара,  $d_o = 3,5$  мм и  $\rho_{\text{био}} = 1,744$  кг/м<sup>3</sup>, диаметр пузырька в момент покидания СМ составит  $d_{\text{всп}} = 6,445$  мм.

Принимая за время всплывания средний диаметр пузырька биогаза:

$$\bar{d} = 0,5 \cdot (d_0 + d_{\text{всп}}), \quad (11)$$

скорость всплывания можно оценить по уравнению [12]:

$$W_{\text{вспл}} = \left[ g \cdot \frac{\bar{d}}{2} \cdot \frac{\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{био}}}{\rho_{\text{см}} + \rho_{\text{био}}} + \frac{2 \cdot \sigma}{\bar{d} \cdot (\rho_{\text{см}} + \rho_{\text{био}})} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

или по зависимости [3]:

$$W_{\text{вспл}} = \frac{\mu_{\text{см}} \cdot Ar \cdot \sqrt{We}}{d_0 \cdot \rho_{\text{см}} \cdot (18 \cdot \sqrt{We} + 0,6 \cdot \sqrt{Ar})}, \quad (13)$$

где  $Ar = \frac{g \cdot d_0^3}{\nu_{\text{см}}^2} \cdot \frac{\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{био}}}{\rho_{\text{см}}}$  — число Архимеда;

$We = \frac{\sigma}{g \cdot (\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{био}}) \cdot d_0^2}$  — число Вебера;

$\mu_{\text{био}}$  и  $\nu_{\text{см}}$  — коэффициенты динамической и кинетической вязкости СМ, Па·с и м<sup>2</sup>/с.

Для анализируемых условий при температуре сбраживания 40 °С в уравнениях (12) и (13) приняты  $\mu_{\text{см}} = 761,7 \cdot 10^{-6}$  Па·с и  $\nu_{\text{см}} = 0,7525 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Рассчитанные скорости всплывания составили  $W_{\text{вспл}}|_{(12)} = 0,2681$  м/с и  $W_{\text{вспл}}|_{(13)} = 0,2677$  м/с.

В процессе всплывания в изотермических условиях каждый пузырёк совершает работу [10]:

$$L = m_{\text{пуз}} \cdot R_{\text{био}} \cdot T \cdot \ln \frac{B}{P_{\text{био}}}. \quad (14)$$

По результатам [8] выход биогаза составляет  $V_{\text{био}}^I = 2,274 \cdot 10^{-2}$  м<sup>3</sup>/с. Тогда количество пузырьков, покидающих СМ,  $n_{\tau}$  будет равно:

$$n_{\tau} = \frac{V_{\text{био}}^I}{V_{\text{вспл}}}, \quad (15)$$

где  $V_{\text{вспл}} = \frac{\pi}{6} \cdot d_{\text{всп}}^3$  — объём одного пузырька биогаза, покидающего СМ, м<sup>3</sup>.

Общая суммарная работа пузырьков биогаза, затраченная в единицу времени на перемешивание СМ, составит:

$$L_{\Sigma\tau} = n_{\tau} \cdot L, \quad (16)$$

а удельная мощность перемешивания СМ будет равна:

$$N_{y\phi} = \frac{L_{\Sigma\tau}}{M_{\text{см}}}, \quad (17)$$

где  $M_{\text{см}}$  — масса сбраживаемого материала в МТ, кг.



Расчёты с учетом уравнений (14–17) показали, что для принятых условий  $N_{y0} = 3,739 \cdot 10^{-3}$  Вт/кг СМ. Ранее было отмечено, что работа всплывающих пузырьков затрачивается на перемешивание жидкости и изменение скорости её движения. При этом увеличение кинетической энергии 1 кг СМ будет соответствовать:

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} = N_{y0}. \quad (18)$$

Если принять, что без барботажа скорость движения СМ  $w_1 = 0$ , то при движении пузырьков биогаза скорость перемещения СМ составит:

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot N_{y0}}. \quad (19)$$

Для условий анализа получено  $w_2 = 8,647 \cdot 10^{-2}$  м/с.

Эту скорость целесообразно использовать для расчетов интенсивности теплообмена в МТ в условиях перемешивания СМ пузырьками биогаза.

Анализ влияния перемешивания СМ, обусловленного всплыванием пузырьков биогаза, на процессы теплообмена в МТ по сравнению с теплообменом при свободной конвекции выполнен с использованием соответствующих критериальных уравнений конвективного теплообмена для отдельных частей МТ.

Процесс теплообмена наружной стенки трубы змеевика со СМ можно рассматривать как свободную конвекцию у горизонтальной трубы. При этом критериальное уравнение имеет вид [14]:

$$Nu_{3M} = 0,50 \cdot (Gr_{CM} \cdot Pr|_{40})^{0,25} \cdot \left( \frac{Pr|_{40}}{Pr|_{50}} \right)^{0,25}, \quad (20)$$

где  $Nu_{3M} = \frac{\alpha_{3M} \cdot d_n}{\lambda|_{40}}$  — число Нуссельта;

$Gr_{CM} = \frac{g \cdot d_n^3}{(\nu|_{40})^2} \cdot \frac{t_{3M} - t_{CM}}{T_{CM}}$  — число Грасгофа;

$Pr|_{40}$  и  $Pr|_{50}$  — критерий Прандтля при температурах  $t_{CM} = 40$  °С и  $t_{3M} = 50$  °С;

$d_n$  — наружный диаметр трубы змеевика, м;

$\nu|_{40}$  — коэффициент кинематической вязкости СМ при  $t_{CM}$ , м<sup>2</sup>/с;

$\lambda|_{40}$  — коэффициент теплопроводности СМ при  $t_{CM}$ , Вт/(м·град);

$\alpha_{3M}$  — коэффициент теплоотдачи от змеевика к СМ, Вт/(м·град).

Принимая теплофизические характеристики СМ по результатам работы [8] и  $d_n = 0,078$  м, было установлено, что  $\alpha_{3M} = 469,1$  Вт/(м<sup>2</sup>·град).

При омывании змеевика СМ, движущейся со скоростью всплывания пузырьков биогаза  $w_{всп} = 8,647 \cdot 10^{-2}$  м/с, режим движения определяли по величине числа Рейнольдса:

$$Re_{3M} = \frac{w_{всп} \cdot d_n}{\nu|_{40}}. \quad (21)$$

В условиях турбулентного режима ( $Re_{3M} = 8,733 \cdot 10^3$ ) при омывании одночной трубы критериальное уравнение имеет вид [14]:

$$Nu_{3M}^I = 0,28 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr|_{40}^{0,6} \cdot \left( \frac{Pr|_{40}}{Pr|_{50}} \right)^{0,25}. \quad (22)$$

Коэффициент теплоотдачи, полученный с использованием (22), составил  $\alpha_{3M}^I = 626,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Для условий теплообмена между СМ и вертикальной стенкой принято, что температура стенки на пять градусов меньше температуры СМ ( $t_{CM} = 35$  °С) и характерным размером является погонный метр стенки ( $l_{CM} = 1$  м). При свободной конвекции у вертикальной стенки [14]:

$$Nu_{6,CM} = 0,15 \cdot (Gr_{6,CM} \cdot Pr|_{40})^{0,6} \cdot \left( \frac{Pr|_{40}}{Pr|_{35}} \right)^{0,25}, \quad (23)$$

где  $Nu_{\epsilon,cm} = \frac{\alpha_{\epsilon,cm} \cdot l_{cm}}{\lambda|_{40}}$  — число Нуссельта;

$$Gr_{\epsilon,cm} = \frac{g \cdot l_{cm}^3}{(\nu|_{40})^2} \cdot \frac{t_{cm} - t_{cm}}{T_{cm}} \text{ — число Грасгофа;}$$

$Pr|_{35}$  — критерий Прандтля при температуре  $t_{cm} = 35$  °C.

Из уравнения (23) получено, что коэффициент теплоотдачи от СМ к вертикальной стенке МТ при свободной конвекции составил  $\alpha_{\text{в.ст.}} = 618,6$  Вт/(м<sup>2</sup>·град).

При омывании вертикальной стенки движущейся СМ характерный размер равен высоте рабочей части цилиндра ( $l'_{cm} = 5,07$  м). Критериальное уравнение имеет вид [14]:

$$Nu_{\epsilon,cm}^I = 0,037 \cdot Re_{\epsilon,cm}^{0,6} \cdot Pr|_{40}^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr|_{40}}{Pr|_{35}} \right)^{0,25}, \quad (24)$$

где  $Nu_{\epsilon,cm}^I = \frac{\alpha_{\epsilon,cm}^I \cdot l_{cm}}{\lambda|_{40}}$  — число Нуссельта;

$$Re_{\epsilon,cm} = \frac{w_{cm} \cdot l_{cm}}{\nu|_{40}} \text{ — число Рейнольдса.}$$

При этом коэффициент теплоотдачи от СМ к вертикальной стенке МТ при вынужденной конвекции составил (из расчета на погонный метр)  $\alpha_{\epsilon,cm}^I = (Nu_{\epsilon,cm}^I \cdot \lambda|_{40}) / l_{cm} = 1200,4$  Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Днище МТ представляет собой шаровой сегмент, имеющий глубину  $h$  и хорду, равную внутреннему диаметру МТ  $2a = D_{MT}$

Боковая поверхность такой фигуры «М» определяется по формуле [15]:

$$M = \pi \cdot (h^2 + a^2). \quad (25)$$

Для анализа теплообмена между СМ и днищем условно принимали плоский диск, площадь поверхности которого  $S$  равна площади поверхности шарового сегмента, т. е.  $S = M$ . Условный диаметр такого диска  $D_y$  равен:

$$D_y = \sqrt{\frac{4M}{\pi}}, \quad (26)$$

а характерный размер составляет:

$$l_{\text{дн}} = \frac{2D_y}{\pi}. \quad (27)$$

Вид критериального уравнения теплообмена при свободной конвекции между СМ и условным диском определяется величиной числа Рэлея [11].

$$Ra = Gr_{\text{дн}} \cdot Pr|_{40}, \quad (28)$$

где  $Gr_{\text{дн}} = \frac{g \cdot l_{\text{дн}}^3}{(\nu|_{40})^2} \cdot \frac{t_{cm} - t_{cm}}{T_{cm}}$  — число Грасгофа.

Если  $Gr > 2 \cdot 10^7$ , то необходимо использовать критериальное уравнение [11]:

$$Nu_{\text{дн}} = 0,135 \cdot Ra^{0,33}, \quad (29)$$

из которого коэффициент теплоотдачи от СМ к днищу будет равен  $\alpha_{\text{дн}} = Nu_{\text{дн}} \cdot \lambda|_{40} / l_{\text{дн}} = 572,0$  Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Для определения интенсивности теплообмена в условиях образования на поверхности условного диска пузырьков биогаза была принята модель теплообмена при пузырьковом кипении жидкости. Различие механизмов образования пузырьков биогаза и пара не учитывалось. Изменение направления теплового потока при образовании биогаза было учтено введением в критериальное уравнение, рекомендованное [11], поправочного множителя  $Pr|_{40} / Pr|_{35}$ .

Использование уравнения [11] с поправкой:

$$Nu_{\text{дн}}^I = 0,125 \cdot Re_{\text{дн}}^{0,65} \cdot Pr_{\text{дн}}^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr_{\text{дн}}}{Pr_{\text{ср}}} \right)^{0,25}, \quad (30)$$

где  $Nu_{\text{дн}}^I = \frac{\alpha_{\text{дн}}^I \cdot L}{\lambda_{\text{дн}}}$  — число Нуссельта;

$Re_{\text{дн}} = \frac{w_{\text{ср}} \cdot L}{\nu_{\text{дн}}}$  — число Рейнольдса;

$L = \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{био}})}}$  — характерный размер, м, в котором коэффициенты приняты для условия

$Re_{\text{дн}} > 0,1$ , показало, что при вынужденной конвекции коэффициент теплообмена равен

$$\alpha_{\text{дн}}^I = \frac{Nu_{\text{дн}}^I \cdot \lambda_{\text{дн}}}{L} = 1154,2 \text{ Вт/(м}^2\text{·град)}.$$

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДАЛЬНЕЙШЕМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

В условиях отсутствия перемешивания СМ в МТ существенное влияние на интенсивность теплообмена оказывает барботаж СМ пузырьками образующегося биогаза. Предложенная методика расчетов процессов образования пузырьков газа и теплообмена позволит учитывать потери теплоты на этапе предварительного проектирования МТ с целью обеспечения поддержания в процессе эксплуатации стабильного теплового режима сбраживания биомассы в метантенках.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шрамков, В. М. Купите биогазовую установку [Текст] / В. М. Шрамков // Энергия. Экономика, техника, экология. — 1987. — № 8. — С. 47–48.
2. Яковенко, А. В. Эффективность использования биогаза в фермерском хозяйстве [Текст] / А. В. Яковенко, В. А. Сербин // Екологічна безпека та природокористування. — К.: КНУБА, 2008. — Вип. 2. — С. 178–185. — Бібліогр.: 6 назв.
3. Костромин, Д. В. Анаэробная переработка органических отходов животноводства в биореакторе с барботажным перемешиванием [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / Д. В. Костромин; Всероссийский НИИ ремонта и эксплуатации машино-тракторного парка. — М., 2010. — 18 с.
4. Остапенко, Д. В. Тепловые процессы в метантенке при сбраживании биомассы [Текст] / Д. В. Остапенко, О. В. Чеботарева, В. А. Сербин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2007. — 6/5(30). — С. 18–20. — Бібліогр.: 8 назв.
5. Чеботарева, О. В. Теплообмен с окружающей средой метантенка для сбраживания биомассы [Текст] / О. В. Чеботарева, В. А. Сербин, Н. В. Колосова // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. — Макіївка, 2010. — Вип. 2010-6(86): Інженерні системи та техногенна безпека. — С. 31–36. — Бібліогр.: 13 назв.
6. Колосова, Н. В. Процессы теплообмена в метантенке при сбраживании биомассы [Текст] / Н. В. Колосова, О. В. Чеботарева, В. А. Сербин // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. — Макіївка, 2011. — Вип. 2011-5(91): Інженерні системи та техногенна безпека. — С. 31–37. — Бібліогр.: 13 назв.
7. Матвеев, Ю. Биогазовая станция. Украинский досвід [Текст] / Ю. Матвеев, Г. Гелетуха // Зелена енергетика. — 2004. — № 1(13). — С. 4–5.
8. Розділ 2. Розробка методики і програми розрахунків гідравлічного і теплового режимів зброжування біомаси у метантенку [Текст] // Удосконалення систем теплогазопостачання, опалення, вентиляції і кондиціонування повітря з використанням сучасних технологій: звіт про НДР К-3-03-06 / Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. — Макіївка: ДонНАБА, 2010. — С. 16–43. — Бібліогр.: 27 назв.
9. Кутепов, А. М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании [Текст]: учебное пособие для вузов / А. М. Кутепов, Л. С. Стерман, Н. Г. Стюшин. — 3-е изд., испр. — М.: Высш. шк., 1986. — 448 с.: ил., табл.
10. Меджибожский, М. Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов [Текст]: учебн. пособие для вузов / М. Я. Меджибожский. — Киев-Донецк: Вища школа, Головное издательство, 1979. — 280 с.: ил., табл.
11. Теплотехника [Текст]: учебн. для вузов / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. — М.: Высш. шк., 1999. — 671 с.: ил., табл.
12. Явойский, В. И. Теория продувки сталеплавильной ванны [Текст] / В. И. Явойский, Г. А. Дорофеев, И. Л. Повх. — М.: Металлургия, 1974. — 496 с.: иллюстр., табл.

13. Делайе, Дж. Теплообмен и гидродинамика двухфазных потоков в атомной и тепловой энергетике [Текст] : пер. с англ. / Дж. Делайе, М. Гио, М. Ритмюллер. — М. : Энергоиздат, 1984. — 424 с. : ил., табл.
14. Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. — Изд. второе, стереотип. — М. : Энергия, 1977. — 344 с. : ил., табл.
15. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике [Текст] : для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — М. : Гос. изд. технико-теоретич. лит., 1956. — 608 с. : ил., табл.

Получено 28.02.2012

**В. А. СЕРБІН, О. В. ЧЕБОТАРЬОВА, Н. В. КОЛОСОВА**  
**ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛООБМІНУ В МЕТАНТЕНКУ ПРИ ЗБРОЖУВАННІ**  
**НЕПЕРЕМІШУВАНОЇ БІОМАСИ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто процес газоутворення у метантенку та барботажу зброжуваної маси бульбашками утвореного біогазу. Виконано аналіз впливу бульбашок біогазу, що спливають, на процес теплообміну між зброжуваною масою та внутрішніми поверхнями метантенка.

**барбота́ж, швидко́сть спливу, робо́та пере́мішування, інтенсивні́сть теплообмі́ну**

**VLADIMIR SERBIN, OLGA CHEBOTARYOVA, NELLY KOLOSOVA**  
**FEATURES OF HEAT EXCHANGE IN A METHANE-TANK IN THE PROCESS OF**  
**FERMENTATION OF UNMIXED BIOMASSY**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The process of gasification in a methane-tank and barbotage of fermentable mass by formed biogas bubbles has been considered. The analysis of influence of rise of biogas bubbles of phials of biogas on the process of heat exchange between fermentable mass and internal has been made surfaces of methane-tank.

**barbatage, rise rate, work of mixing, intensity of heat exchange**

**Сербін Володимир Артемович** — к. т. н., доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

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

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

**Сербин Владимир Артемович** — к. т. н., доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение.

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

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

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

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

**Nelly Kolosova** — the student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: saving of energy resources.

УДК 669.162.252

**В. А. КРАВЕЦ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ ПРИ ПЕРЕЛИВАХ РАСПЛАВА ЧУГУНА**

Экспериментально в промышленных условиях исследовались параметры выбросов при переливах чугуна в миксерных отделениях сталеплавильных цехов. Определены усреднённые значения скорости потока выбросов, объёмного расхода, температуры и запылённости. Эти параметры имеют большое практическое значение для проектирования аспирационных систем, выбора конструкции зонтов и газоочистных аппаратов, а также при проектировании установок пылеподавления азотом.

**переливы чугуна, параметры выбросов, система аспирации, газоочистка, пылеподавление азотом**

### **ПРОБЛЕМА**

Параметры выбросов при переливах чугуна играют большую роль при проектировании аспирационных систем графитоулавливания и установок пылеподавления нейтральным газом. В расчёты эффективности аспирации и пылеподавления входят величины расхода в факеле выбросов, температура и запылённость потока и т. д. Эти величины относятся к определяемым экспериментально, что требует значительных затрат труда и времени, поэтому обобщение этих материалов и сведение их к удобным усреднённым показателям имеет большое практическое значение.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В промышленных условиях исследовались параметры потока выбросов при сливе чугуна из миксера в ковш и при заливке чугуна из ковша в миксер. Исследования выполнялись в миксерных отделениях мартеновского цеха Донецкого металлургического завода (миксеры ёмкостью 600 т), конвертерного цеха № 1 Западно-Сибирского металлургического комбината (ККЦ-1 ЗСМК, миксеры ёмкостью 1 300 т), конвертерного цеха металлургического комбината «Азовсталь» и конвертерного цеха Карагандинского металлургического комбината (миксеры ёмкостью 2 500 т).

Объём выделяющихся выбросов определялся методом фото- и киносъёмки по известной методике [1]. Выбросы из ковша и миксера при отсутствии пылеподавления хорошо визуализированы выделяющимся бурым дымом. Для получения отчётливых кадров применялось дополнительное освещение прожекторами или фотовспышка, поскольку естественного света от расплавленного металла было недостаточно. При просмотре киноплёнок определяли характерные микрообъекты — участки потока выбросов, выделяющихся очертаниями или цветом. Затем на экране определяли координаты этих микрообъектов, и по изменению этих координат на  $n$ -ом и  $(n+i)$ -ом кадре при известной скорости съёмки определялась средняя скорость этого объекта на доступном для съёмки участке траектории потока выбросов. Погрешность определения скорости методом киносъёмки составила 3,5 %. Также по фотографиям и киноплёнкам определялся диаметр потока выбросов. Принимая, что поток выбросов имеет цилиндрическую форму, расчётным путём по известному диаметру и скорости определялся расход в факеле выбросов.

Для дополнительного контроля измерялась скорость потока выбросов крыльчатым анемометром в проёме рабочей площадки у носка миксера. Полученные результаты примерно совпали с данными измерения скорости методом киносъёмки, однако постоянное применение анемометра оказалось нецелесообразным из-за выхода из строя прибора при воздействии высокой температуры и запылённости.

Для измерения температуры потока выбросов непосредственно над ковшом применялась штыковая термопара с хромель-алюмелевыми электродами диаметром 0,5 мм. Спай термопары защищался серебряным наконечником и специально изготовленным футляром с косыми прорезями, что обеспечивало хорошее омывание спая потоком раскалённых газов и, в то же время, защищало от воздействия теплового излучения от металла и стенок ковша. Концентрация пыли измерялась в потоке выбросов на прямом участке газопровода аспирационной системы методом внешней фильтрации с соблюдением изокINETического принципа отбора проб по стандартной методике [2, 3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования параметров выбросов при наполнении ковша расплавом металла показали, что можно выделить два периода перелива: начальный (пиковый) выброс в начале процесса наполнения ковша и основной период слива.

Пиковый выброс наблюдается в начале процесса слива металла в ковш, когда происходит соударение струи металла с твёрдой поверхностью футеровки, и длится в течение заполнения ковша примерно на 10 %. После этого на дне ковша образуется подушка жидкости, смягчающая удар, и параметры потока выбросов резко меняются. При пиковом выбросе все основные характеристики потока (запылённость, скорость потока, диаметр факела, температура) превышают соответствующие параметры основного периода слива в 1,3–2,8 раза. Это связано с образованием большого количества брызг металла при ударе о футеровку и с высокой интенсивностью окислительных процессов, идущих с выделением тепла. Это хорошо согласуется с теоретическими представлениями о механизме образования бурого дыма, согласно которым бурый дым образуется в результате взаимодействия брызг металла с кислородом газовой фазы [1, 4, 5].

Отмечено, что наиболее сильный начальный выброс имеет место при сливе чугуна в холодный ковш, когда происходит «замораживание» первых порций металла на дне, и контакт с твёрдой поверхностью наиболее продолжителен по времени. При сливе же чугуна в ковш, стенки которого разогреты до высоких температур в результате контакта с предыдущей порцией металла, скорость потока выбросов, его температура, диаметр и запылённость в начальный период имеют меньшие значения.

В основной период слива (после наполнения ковша примерно на 10 %) скорость, диаметр, температура и запылённость факела выбросов резко снижаются по сравнению с начальным периодом. В дальнейшем, по мере подъёма уровня металла в ковше и уменьшении высоты падения струи, параметры потока выбросов, в целом, продолжают уменьшаться, но имеются отдельные «всплески», связанные, вероятно, с нестабильностью формы струи металла.

Для выяснения природы пикового выброса был поставлен специальный эксперимент в миксерном отделении конвертерного цеха металлургического комбината «Азовсталь». В ходе эксперимента слив чугуна производился в 350-тонный ковш, на дне которого намеренно было оставлено некоторое количество металла от предыдущей плавки. Чтобы металл не успел застыть, слив из миксера производился сразу после заливки чугуна в конвертер. Было установлено, что при наличии на дне ковша более 30 т чугуна выбросы резко уменьшались, а при наличии около 100 т начальный выброс вообще практически отсутствовал. Таким образом, однозначно установлено, что пиковый выброс в начальный период наполнения ковша связан с характером контакта металла с поверхностью, и наличие жидкой подушки приводит к снижению параметров выбросов.

Параметры выбросов в основной период наполнения ковша при сливе чугуна в холодный и разогретый ковш существенно не отличаются. Таким образом, температура стенок ковша оказывает влияние на параметры выбросов только в начальный момент наполнения.

Существенное влияние на факел выбросов как в начальный, так и в основной период наполнения ковша оказывают факторы, связанные с формой и структурой струи металла. Установлено, что скорость и диаметр потока выбросов возрастают при нарушении «гладкости» струи. Так, после ремонта носка миксера средние выбросы всегда ниже, чем в конце эксплуатационной кампании, когда носок зарастает шлакометаллическими настылями и струя чугуна имеет сильные отклонения от цилиндрической формы. Другим важным фактором является высота падения струи металла. Увеличение высоты падения приводило к росту скорости, диаметра, температуры и запылённости потока выбросов.

В таблицах приведены параметры выбросов при сливе чугуна из миксера в ковш, полученные экспериментально. Концентрация пыли в выбросах в аспирационных системах до очистного аппарата составляла 2 500–4 500 мг/м<sup>3</sup>, основными компонентами пыли являются бурый дым и графитная спель.

**Таблиця 1** — Параметри вибросів над ковшем при сливе чугуна из миксера

Ёмкость миксера, т	Параметр потока выбросов	Значение параметра (пределы изменения)	
		Начальный выброс	Основной период слива
2 500	Скорость, м/с	4,0–5,3	2,3–3,1
	Диаметр факела, м	3,8–5,1	3,5–3,7
	Расход в факеле, м <sup>3</sup> /с	45–107	22–33
	Температура, °С	250–330	150–240
1 300	Скорость, м/с	3,5–4,7	1,7–2,2
	Диаметр факела, м	2,7–4,1	3,2–3,6
	Расход в факеле, м <sup>3</sup> /с	20–58	14,3–22,0
	Температура, °С	240–330	130–210

Средние удельные выбросы пыли в миксерных отделениях, оборудованных миксерами различной ёмкости, приведены в табл. 2.

**Таблиця 2** — Удельные выбросы пыли в миксерных отделениях

Ёмкость миксера, т	Средние удельные выбросы пыли при заливке чугуна в миксер, кг/т чугуна	Средние удельные выбросы пыли при сливе из миксера в ковш, кг/т чугуна
600	0,09	0,09
1 300	0,15	0,16
2 500	0,13	0,30

## ВЫВОДЫ

Експериментальним дослідженням параметрів вибросів встановлено наступне.

1. При наповненні ёмкості расплавом чугуна існують два періоди: початковий (піковий виброс), поки ёмкість наповнюється приблизно на 10 %, і основний період наповнення. Всі основні параметри потоку вибросів (швидкість, діаметр факела, температура, запылённость) в початковий період різко (в 1,3–2,8 рази) перевищують параметри основного періода.

2. Однозначно встановлено, що піковий виброс в початковий період наповнення ковша зв'язаний з ударом металу о твёрду поверхню, і наявність рідкої подушки призводить до зниженню параметрів вибросів.

3. Встановлено, що з ростом ёмкості миксера зростає об'єм і удельна запылённость вибросів, що зв'язано з збільшенням висоти падіння струї чугуна.

4. Отримані усереднені параметри потоку вибросів, які можуть бути використані при проектуванні аспираційних систем і установок пылеподавления азотом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравец, В. А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна [Текст] : Монография / В. А. Кравец. — Донецк : УкрНТЭК, 2002. — 186 с. : 450 экз. — ISBN 966-7904-53-9.
2. Гордон, Г. М. Контроль пылеулавливающих установок [Текст] / Г. М. Гордон, И. Л. Пейсахов. — М. : Металлургия, 1974. — 300 с.
3. Інструкція по відбору проб з газопилових потоків [Текст] : Нормативний документ / Мінприроди України. — Донецьк : Видавництво «УкрНТЕК», 2006. — 24 с.
4. Сущенко, А. В. О механизме дымообразования высокодисперсной пыли в кислородном конвертере [Текст] / А. В. Сущенко // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации / ОАО «Черметинформация». — 2008. — Вып. 12. — С. 32–38.
5. Симонян, Л. М. К вопросу утилизации пыли сталеплавильных печей с продувкой расплава [Текст] / Л. М. Симонян, Н. М. Говорова, Е. А. Булаш // Экология и промышленность России. — 2011. — № 10. — С. 4–7.

Получено 28.02.2012

В. А. КРАВЕЦЬ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИКИДІВ ПРИ  
ПЕРЕЛИВАХ РАЗПЛАВУ ЧАВУНУ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Експериментально в промислових умовах досліджувалися параметри викидів при переливах чавуну в міксерних відділеннях сталеливарних цехів. Визначені усереднені значення швидкості потоку викидів, об'ємної витрати, температури і запиленості. Ці параметри мають велике практичне значення для проектування аспіраційних систем, вибору конструкції зонтів та газоочисних апаратів, а також при проектуванні установок пилоподавлення азотом.

**переливи чавуну, параметри викидів, система аспірації, газоочистка, пилоподавлення азотом**

VASILIIY KRAVETS

EXPERIMENTAL RESEARCH OF EMISSION PARAMETERS DURING OVERFLOW OF IRON FLUX

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Emission parameters during iron flux overflow in mixer chamber of steel shop have been examined under industrial conditions. Averaged values of rate of emission flux, volume flow, temperature and dust level have been calculated. This parameters have great practical importance for design of dust-exhaust system, decision of cowl design and gas purifier as well as during design of installation of dust control by nitrogen gas.

**overflow of iron, emission parameters, dust-exhaust system, gas cleaning, dust control by nitrogen gas**

**Кравець Василь Анатолійович** — доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: теорія та практика утворення та подавлення бурого металургійного диму, переробка відходів, захист атмосфери інженерними методами.

**Кравець Василий Анатольевич** — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: теория и практика образования и подавления бурого металлургического дыма, переработка отходов, защита атмосферы инженерными методами.

**Vasiliy Kravets** — DSc (Eng.), associate professor, Head of Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: theory and practice of formation and repression of red metallurgic fume, waste processing, atmosphere protection by engineering methods.



УДК 621.643.02

**З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВІЧ, А. О. ПЛАХОТНЮК**  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ТЕРТЯ ГАЗОПРОВОДУ**

Проаналізовано методики гідравлічного розрахунку мереж газопостачання зі сталевих та поліетиленових труб і визначено вплив абсолютної шорсткості матеріалу труби та режиму течії газу на коефіцієнт гідравлічного тертя. Отримано формули для практичних розрахунків мереж газопостачання з використанням сталевих та поліетиленових труб.

**газопровід, режим руху, газ, гідравлічний розрахунок, коефіцієнт тертя, шорсткість, втрати тиску**

### **ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ**

Основною перевагою поліетиленових труб є зниження тертя при транспортуванні газу. Поряд з цим можна виділити ряд додаткових позитивних факторів застосування поліетиленових труб: більше швидко і легко запровадження в дію трубопроводів за рахунок того, що поліетиленова труба під час збереження і монтажу не піддається корозії; прискорюється процес сушіння трубопроводу після гідравлічних обстежень; ліквідується дорогий і тривалий процес очищення трубопроводу від бруду й іржі перед введенням в експлуатацію; економія енерговитрат на перекачування і стиск у процесі експлуатації газопроводу; забезпечення чистоти продукту, що транспортується; значне зниження щорічних експлуатаційних витрат на запірну арматуру, яка набагато частіше виходить з ладу, вимагає ремонту і заміни при транспортуванні газу, забрудненого продуктами корозії; поліпшений режим руху газу за рахунок зниження турбулентності потоку; значне зниження капітальних витрат за рахунок можливості зменшення діаметра трубопроводу, обумовленої підвищенням його пропускної здатності.

Не всі зазначені фактори присутні в кожному проекті, але навіть поєднання деяких з них забезпечує окупність використання поліетиленових труб. Одним із ключових факторів є шорсткість поверхні, що безпосередньо пов'язана з фактором трансмісії.

### **ЦІЛЬ РОБОТИ**

Проаналізувати існуючі методики гідравлічного розрахунку мереж газопостачання зі сталевих та поліетиленових труб та визначити вплив абсолютної шорсткості матеріалу труби та режиму течії газу на коефіцієнт гідравлічного тертя.

### **ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ**

Гідравлічний розрахунок є важливою складовою процесу вибору типорозміру труби для будівництва трубопроводу. У нормативній літературі з проектування це зрозуміле з точки зору фізики питання ґрунтовно заплутане. Це пов'язано зі спробою описати всі варіанти розрахунку коефіцієнта тертя залежно від режиму течії, типу рідини та її температури, а також від шорсткості труби, одним (на всі випадки) рівнянням з варіацією його параметрів і введенням всіляких поправкових коефіцієнтів. При цьому стислість викладення, притаманна нормативному документу, робить вибір величин цих коефіцієнтів в значній мірі довільним і найчастіше закінчується номограмами, які кочують з одного документа в інший.

Для трубопроводів з газом, який рухається по них, справедлива функціональна залежність  $\lambda = f(\Delta_\epsilon, Re)$ . Коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  визначається залежно від режиму руху газу по

газопроводу, що характеризується числом Рейнольдса, та від гідравлічної гладкості внутрішньої стінки газопроводу, яка визначається за умовою

$$\text{Re}\left(\frac{\Delta_e}{d}\right) < 23,$$

де  $\Delta_e$  — еквівалентна абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні стінки сталевих труб — 0,01 см; для сталевих труб, що були в експлуатації — 0,1 см; для поліетиленових труб незалежно від терміну експлуатації — 0,002 см [1].

У російських нормативних документах обумовлена інша еквівалентна шорсткість для ПЕ труб — вона становить 0,0007 см [2]. Мала величина  $\Delta_e$  обумовлює роботу поліетиленових газопроводів у зоні гідравлічно гладких труб.

Залежно від значення Re коефіцієнт гідравлічного тертя визначається за різними формулами (табл. 1).

**Таблиця 1** — Формули для визначення коефіцієнтів гідравлічного тертя залежно від режиму течії газу

Зони	Значення Re	Розрахункова формула коефіцієнта гідравлічного тертя $\lambda$	Вид стінки труби	Примітки
I	$\text{Re} \leq 2\,300$	$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$	—	Формула Стокса, для ламінарного режиму руху газу
II	$\text{Re} = 2\,300 - 4\,000$	$\lambda = 0,025 \sqrt[3]{\text{Re}}$	—	для критичного режиму руху газу, емпірична формула Зайченка
III	$4000 < \text{Re} < 10\,000\, (d/\Delta_e)$	$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}$	для гідравлічно гладкої стінки	Турбулентна течія, формула Блазіуса
	$70000 < \text{Re} < 700\,000$	$\lambda = \frac{0,171}{\text{Re}^{0,194}}$	для гідравлічно гладкої стінки	для середнього і високого тиску
	$10^5 < \text{Re} < 3 \cdot 10^6$	$\lambda = \frac{1}{(1,82 \lg \text{Re} - 1,64)^2}$	для гідравлічно гладкої стінки	Формула Конакова
IV	$\text{Re} > 4\,000$ $10 < \text{Re}(\Delta_e/d) < 500$	$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_e}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}$	зона змішаного тертя або гідравлічно шорстких труб	Формула Альтшуля [3]
V	$\text{Re}(\Delta_e/d) > 500$	$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_e}{d} \right)^{0,25};$ $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{\Delta_e}{3,71d} \right)$	зона квадратичного опору (шорсткого тертя)	Формула Шифрінсона; формула Нікурадзе

Примітка: Навіть для гідравлічно гладких труб коефіцієнт тертя не дорівнює нулю. Тобто, завжди присутні втрати напору в будь-якій трубі. Це результат тертя будь-якої речовини на границі твердої поверхні, біля якої вона рухається. Завжди існує незначна шорсткість поверхні на молекулярному рівні приплин речовини, навіть якщо шорсткість значно менше, ніж товщина в'язкого шару.

Проаналізувавши формули, які представлені в таблиці [4, 5], та після аналізу номограми І. Муді з визначення коефіцієнта тертя залежно від числа Рейнольдса [6, 7] та еквівалентної шорсткості можна зробити наступні висновки:

— згідно з номограмою Муді турбулентний режим течії газу характеризується сімейством кривих, нижня з яких визначає, що  $\Delta_e/d = 0$ . Т. т. в турбулентному режимі течії газу III зони шорсткість стінок трубопроводу не впливає на коефіцієнт тертя  $\lambda$ ;

— решта кривих сімейства має певне значення відносно шорсткості  $\Delta_e/d$ . Таким чином, коефіцієнт тертя в цьому випадку (IV зона) залежить як від Re, так і від  $\Delta_e/d$ ;

— криві, які лежать в правій частині номограми та описуються залежністю  $\lambda = f(\text{Re}, \Delta_e/d)$  розташовані паралельно відносно осі. Це означає, що Re не впливає на  $\lambda$ , який в цьому випадку залежить тільки від відносно шорсткості  $\Delta_e/d$ . Це зона шорсткої труби (V зона).

За числом Re та відносно шорсткістю  $\Delta_e/d$  можна знайти коефіцієнт тертя за діаграмою Муді. У випадку, коли вираховуються витрати газу і немає можливості визначити Re та  $\lambda$ , їх можна знайти за діаграмою залежно від зони. Тоді визначаються фактичні значення Re і розраховується та коректується коефіцієнт тертя [8].

Для практичних розрахунків мереж систем газопостачання на основі вищевикладеного отримані наступні формули (за нормальних умов):

$$\rho_n = 0,73 \text{ кг/м}^3, \quad \nu_n = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \quad P_n = 101,3 \text{ кПа}$$

$$\text{Re} = \frac{Q_n}{2827 \cdot d \nu_n},$$

де  $Q_n$  — витрата газу за нормальних умов,  $\text{м}^3 / \text{год}$ .

Витрати тиску по довжині та коефіцієнт тертя складатимуть:

$$\Delta p_L = 0,81 \lambda \rho \frac{Q_n^2}{d^5} l;$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}},$$

тоді для розрахунку втрат тиску в мережах низького тиску можна отримати

$$\Delta p_L = 6,473 \cdot 10^{-9} \frac{Q_n^{1,75}}{d^{4,75}} l = s l Q_n^{1,75},$$

де  $s = 6,473 \cdot 10^{-9} \cdot d^{-4,75}$  — порівнювальні втрати тиску;  
 $Q_n$  — витрати газу,  $\text{м}^3 / \text{год}$ .

При розрахунку втрат тиску в поліетиленових трубопроводах мереж середнього та високого тиску:

$$\Delta P^2 = P_1^2 - P_2^2 = 1,62 \lambda \rho_n P_n \frac{Q_n^2}{d^5} l;$$

$$\lambda = \frac{0,171}{\text{Re}^{0,194}},$$

$$\Delta P^2 = P_1^2 - P_2^2 = 10,14 \cdot 10^{-3} \rho_n \nu_n^{0,194} \frac{Q_n^{1,806}}{d^{4,806}} l.$$

Для природних газів  $\rho_n = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu_n = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

$$\Delta P^2 = 8,50 \cdot 10^{-4} \frac{Q_n^{1,806}}{d^{4,806}} l = S l Q_n^{1,806},$$

де  $S = 8,50 \cdot 10^{-4} \cdot d^{-4,806}$  — порівнювальні втрати тиску;  
 $Q_n$  — витрати газу,  $\text{м}^3 / \text{год}$ ;  
 $\Delta P^2$  — витрати тиску,  $\text{Па}^2$ .

## ВИСНОВКИ

На основі зробленого аналізу методів визначення коефіцієнта гідравлічного тертя газопроводу залежно від матеріалу труби та режиму руху газу отримано практичні формули для розрахунку систем газопостачання поліетиленових і сталевих труб. В ході аналізу виявлено, що існуючі методики недостатньо глибоко розглядають питання зміни коефіцієнта гідравлічного тертя трубопроводу залежно від строку та умов його експлуатації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Внешние сети и сооружения. Газоснабжение : ДБН В.2.5-20-2001. — Взамен СНиП 2.04.08-87, СНиП 3.05.02-88 ; введ. 2001-08-01. — К. : Госстрой Украины, 2001. — 131 с. — (Государственные строительные нормы Украины).

2. Свод правил по проектированию и строительству. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб [Текст] : СП 42-101-2003. — Введен впервые ; введ. 2003-07-08. — М. : Госстрой России, 2003. — 112 с. — (Система нормативных документов в строительстве).
3. Примеры расчетов по гидравлике [Текст] : Учебн. пособ. / А. Д. Альтшуль, В. И. Калицун, Ф. Г. Майрановский [и др.] — М. : Стройиздат, 1976. — 256 с.
4. Кітайцева, Е. Х. Гідравлічний розрахунок сталевих і поліетиленових газопроводів [Текст] / Е. Х. Кітайцева // Полімергаз. — 2000. — № 1. — С. 21–23.
5. Комина, Г. П. Гидравлический расчет и проектирование газопроводов [Текст] : Учебн. пособ. / Г. П. Комина, А. О. Прошутинский. — СПб. : СПбГАСУ, 2010. — 148 с.
6. Mattar, L. Gas Pipeline Efficiencies And Pressure Gradient Curves [Текст] / L. Mattar, K. Zaoral, T. Fekete // Annual Technical Meeting, Jun 10–13, 1984, Calgary, Alberta / Petroleum Society of Canada. — Calgary : Society of Petroleum Engineers, 1984. — P. 10–13. — ISBN 978-1-55563-547-3.
7. Gregory, G. A. Alternate to Standard Friction Factor Equation [Текст] / G. A. Gregory, F. Fogarasi // Oil & Gas Jour. — 1985. — Apr. 1. — P. 127.
8. Швабауэр, В. В. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс [Текст] / В. В. Швабауэр, И. В. Гвоздев, М. И. Горилловский // Полимерные трубы : Журнал. — 2005. — № 1. — С. 18–22.

Отримано 29.02.2012

**З. В. УДОВИЧЕНКО, Д. В. САВИЧ, А. О. ПЛАХОТНЮК**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ**  
**ГАЗОПРОВОДА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Проанализированы методики гидравлического расчета сетей газоснабжения из стальных и полиэтиленовых труб и определено влияние абсолютной шероховатости материала трубы и режима течения газа на коэффициент гидравлического трения. Получены формулы для практических расчетов сетей газоснабжения с использованием стальных и полиэтиленовых труб.

**газопровод, режим движения, газ, гидравлический расчет, коэффициент трения, шероховатость, потери давления**

**ZLATA UDOVICHENKO, DARYA SAVICH, ANNA PLAKHOTNIUK**  
**DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF HYDRAULIC FRICTION OF THE**  
**GAS PIPELINE**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The methods of hydraulic calculations of steel and polyethylene gas pipelines have been analyzed. The influence of absolute materials roughness of the pipe and the flow regime of gas on the coefficient of friction have been determined. The formulas for the practical calculation of steel and polyethylene gas pipelines have been obtained.

**gas pipeline, mode of movement, gas, hydraulic calculation, coefficient of friction, roughness, the pressure loss**

**Удовиченко Злата Вікторівна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадні технології в системах ТГВ, підвищення ефективності експлуатації систем газопостачання.

**Савіч Дар'я Володимирівна** — аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоощадні технології в системах ТГВ.

**Плахотнюк Анна Олександрівна** — магістрант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності експлуатації систем газопостачання.

**Удовиченко Злата Викторовна** — кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах ТГВ, повышение эффективности эксплуатации систем газоснабжения.

**Савич Дарья Владимировна** — аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах ТГВ.

**Плахотнюк Анна Александровна** — магистрант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности эксплуатации систем газоснабжения.

**Zlata Udovichenko** — PhD (Eng.), associate professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: energy saving technologies in the heat, gas supply and ventilation systems, increasing usages efficiency of the gas supply systems.

**Darya Savich** — a postgraduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: increasing usages efficiency of the gas supply systems.

**Anna Plakhotniuk** — a graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: increasing usages efficiency of the gas supply systems.

УДК 697.351

**А. О. ОЛЕКСЮК, М. В. ДОЛГОВ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

## **ГІДРАВЛІЧНИЙ РЕЖИМ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ ЗА НЕЗАЛЕЖНОЮ СХЕМОЮ ПРИЄДНАННЯ З ПІДІГРІВАЛЬНО-АКУМУЛЮВАЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ**

Розглядаються гідравлічні режими роботи теплової мережі з індивідуальними тепловими пунктами (ІТП) і підігрівально-акумулювальними установками (ПАУ) для саморегулювальних абонентських систем опалення та гарячого водопостачання. Наведені результати розрахунку гідравлічного режиму для різних технологічних схем підключення підігрівально-аккумуляторної установки на індивідуальному тепловому пункті.

**система теплопостачання, підігрівально-акумулювальна установка, індивідуальний тепловий пункт, триконтурний теплообмінник, гідравлічний режим**

### **ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ**

Існують десятки схем приєднання систем опалення та гарячого водопостачання до теплових мереж централізованого теплопостачання, проте не існує таких, в яких за допомогою однієї ПАУ з триконтурним теплообмінником одночасно вирішується проблема забезпечення гідравлічної ізоляваності місцевих систем опалення і гарячого водопостачання від теплових мереж, а також вирівнюються графіки нерівномірності добового водоспоживання в системах гарячого водопостачання. Впровадження ПАУ з триконтурними теплообмінниками на індивідуальних теплових пунктах стає доцільним при використанні двотрубних теплових мереж. Складний теплообмін, що виникає в конструкції ПАУ, забезпечується ефективним використанням теплоти первинного теплоносія і розподілом його між місцевими системами опалення та гарячого водопостачання протягом доби. Вони не вимагають складних схем авторегулювання, в яких їх вартість значно перевищує вартість основного устаткування.

Сьогодні в Україні почали застосовувати системи децентралізованого теплопостачання будинків, проте розв'язати проблему забезпечення теплом і гарячою водою на сучасному рівні можуть тільки системи централізованого теплопостачання з двотрубною тепловою мережею від індивідуальних теплових пунктів з багатоконтурними теплообмінниками, наприклад ПАУ з триконтурним теплообмінником. Тому створення вискоєфективних систем централізованого теплопостачання з індивідуальними тепловими пунктами повинно набувати первинного значення при переході на двотрубну внутрішньоквартальну теплову мережу.

Дослідження компактних підігрівально-аккумуляторних установок з триконтурними теплообмінниками для індивідуальних теплових пунктів стає вирішальною енергоощадною проблемою для систем централізованого теплопостачання з двотрубною тепловою мережею.

### **АНАЛІЗ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ**

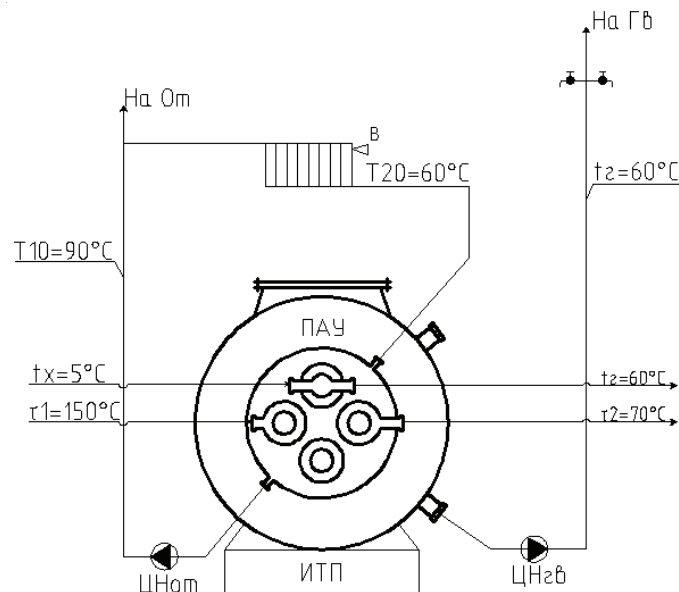
Робота є продовженням серії публікацій авторів за спостереженням проблем енергоресурсоощадження в системах теплопостачання.

## МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження проблем, що виникають у гідравлічному режимі існуючих теплових мереж, та вирішення їх за допомогою ІТП з триконтурними теплообмінниками та баком-аккумулятором гарячої води.

## ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Дослідження гідравлічних режимів роботи теплової мережі та місцевих систем опалення і гарячого водопостачання є новим технічним рішенням цього питання. На рис. 1 показана схема незалежного підключення місцевих систем опалення і гарячого водопостачання до теплової мережі за допомогою ПАУ з триконтурним теплообмінником.



**Рисунок 1** — Схема незалежного приєднання абонентських систем опалення та гарячого водопостачання до теплової мережі за допомогою ПАУ на ІТП кожної будівлі.

Вода, з температурою  $\tau_1 = 150^{\circ}\text{C}$ , поступає в кільцевий простір, утворений трубками більшого діаметра  $d_{1B}$  і меншого діаметра  $d_{2H}$ , віддаючи свою теплоту одночасно по двох незалежних контурах місцевих систем опалення та гарячого водопостачання через свої теплообмінні поверхні  $F_1$  і  $F_2$ . Теплоносії вторинних контурів рухаються на протитечії в триконтурному теплообміннику для системи опалення циркуляційним насосом  $\text{ЦН}_{\text{оп}}$ , а в систему гарячого водопостачання вода подається з бака-аккумулятора підвищувальним насосом  $\text{ЦН}_{\text{гв}}$ .

Важливим моментом при розрахунку гідравлічного режиму роботи теплової мережі та незалежних систем опалення і гарячого водопостачання є визначення втрат тиску як у самій тепловій мережі, так і місцевих абонентських установках, а потім будується п'єзометричний графік і вибираються циркуляційні насоси для системи опалювального контура будівлі та системи гарячого водопостачання.

Втрати тиску в тепловій мережі складаються з втрат в енергетичних бойлерах ТЕЦ або в котлах при централізованому тепlopостачанні від великих районних котельень, які складають 300–350 кПа (30–35 м.вод.ст.), потім втрати в подавальному та зворотному трубопроводах теплової мережі з таблиці гідравлічного розрахунку і втрати тиску в найбільш віддалених абонентських установках, де вони становлять  $\Delta H_{AB} = 100 - 250 \text{ кПа}, (10 \dots 25 \text{ м.вод.ст.})$ .

$$\Delta H_{CH} = \Delta H_{\text{бойл.}}^{\text{ТЕЦ}} + \Delta H_{\text{поп}}^{\text{ТР}} + \Delta H_{\text{обр}}^{\text{ТР}} + \Delta H_{\text{аб}}. \quad (1)$$

Побудувавши графік тисків для теплової мережі, можна визначити втрати у місцевих системах опалення і гарячого водопостачання, а також тиски або розподілення тисків в точках підключення цих абонентів (рис. 2).

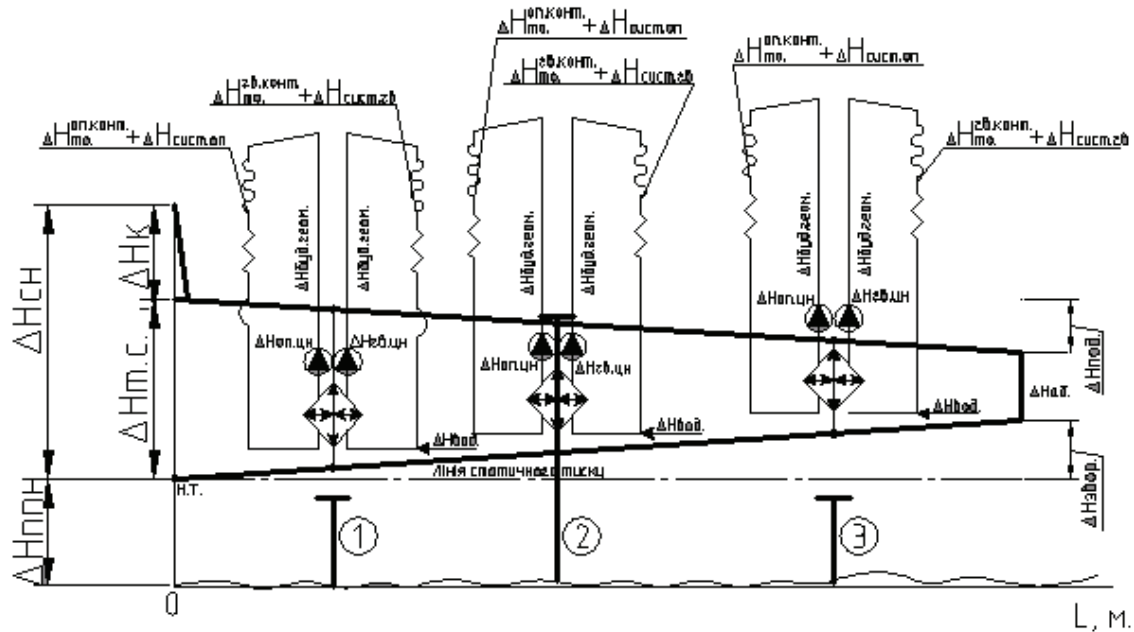


Рисунок 2 – П'єзометричний графік теплової мережі з незалежним приєднанням абонентських систем ОВ та ГВ за допомогою ПАУ з триконтурним теплообмінником.

З п'єзометричного графіка можна визначити натиск циркуляційного насоса для системи опалення за виразом:

$$\Delta H_{\text{ЦН}}^{\text{ОТ}} = \Delta H_{\text{ТО}}^{\text{от. контура}} + \Delta H_{\text{сист.}}^{\text{от}} + \Delta H_{\text{геом.}}^{\text{зд}} \quad (2)$$

де  $\Delta H_{\text{ТО}}^{\text{от. контура}}$  – втрати натиску в міжтрубному просторі триконтурного теплообмінника, м, приймаються 50...80 кПа, (5...8 м.вод.ст.);  
 $\Delta H_{\text{сист.}}^{\text{от}}$  – втрати натиску в контурі системи опалення, можна прийняти  $\Delta H_{\text{сист.}}^{\text{от}} = 20...30$  кПа, (2...3 м.вод.ст.);  
 $\Delta H_{\text{зд.}}^{\text{геом.}}$  – висота будівлі, залежить від поверховості забудови,  $\Delta H_{\text{зд.}}^{\text{геом.}} = h_{\text{эт}} \cdot n_{\text{эт}}$  м.

Натиск циркуляційного насоса, який встановлюється для системи гарячого водопостачання, визначається за формулою:

$$\Delta H_{\text{ЦН}}^{\text{ГВ}} = \Delta H_{\text{ТО}}^{\text{конт.гв}} + \Delta H_{\text{сист.}}^{\text{ГВ}} + \Delta H_{\text{геом.}}^{\text{зд}} + \Delta H_{\text{водомера}} + \Delta H_{\text{своб.}} - \Delta H_{\text{гор.водопр.}} \quad (3)$$

де  $\Delta H_{\text{ТО}}^{\text{конт.гв}}$  – втрати тиску в трубному просторі ТО контура гарячого водопостачання, приймається 50...80 кПа (5...8 м.вод.ст.);  
 $\Delta H_{\text{сист.}}^{\text{ГВ}}$  – гідравлічні втрати в контурі мережі ГВ будівлі, приймається 50 кПа (5 м.вод.ст.);  
 $\Delta H_{\text{лічильник}}$  – втрати тиску в лічильнику по водопровідній воді, залежить від типу, м;  
 $\Delta H_{\text{вільн.}}$  – вільний тиск на виході з водорозбірного крану, приймається 50 кПа (5 м.вод.ст.);  
 $\Delta H_{\text{м.в.}}$  – тиск в міській водопровідній мережі, приймається  $\Delta H_{\text{міського}} \leq 600$  кПа.

П'єзометричний тиск, що створюється спільною роботою мережевих і підвищувальних насосів, визначає тиск в усіх точках системи. Тому вирішення таких питань, як: необхідна механічна міцність устаткування; схема приєднання місцевих абонентських установок до теплової мережі; можливість закипання води в мережі та ін. – здійснюється на основі п'єзометричних графіків.

У зв'язку з тим, що абонентські системи опалення і гарячого водопостачання приєднуються за незалежною схемою до теплової мережі, то в завдання розрахунку гідравлічного режиму входить визначення втрат тиску в цих системах.

Гідравлічною характеристикою насоса, отриманою в результаті випробувань, є залежність тиску  $H_n$ , м, що створюється насосом, від витрати перекачувальної ним води  $V_n$ , м<sup>3</sup>/ч.  $H_n = S_n \cdot V_n^2$ .

Опір насоса можна розраховувати приблизно з виразу  $S_n$ , м·ч<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>:

$$S_n = \frac{H_n}{V_n^2} \quad (4)$$



Гідравлічні характеристики підігрівачів визначаються за формулами,  $\text{м} \cdot \text{ч}^2 / \text{V}^2$ :

$$S_{TO}^{OT} = \Delta H_{TO}^{OT} / V_{OT}^2; S_{TO}^{TB} = \Delta H_{TO}^{TB} / V_{TB}^2, \quad (5)$$

де  $\Delta H_{TO}^{OT}$  і  $\Delta H_{TO}^{TB}$  — втрати тиску у відповідних контурах теплообмінника для проходу теплоносіїв опалювального контура  $V_{OT}$ ,  $\text{м}^3/\text{годину}$  і системи гарячого водопостачання  $V_{TB}$ ,  $\text{м}^3/\text{годину}$ .

Сумарне падіння тиску на ділянці трубопроводу завдовжки  $l$  складається з втрат по довжині і на місцевих опорах,  $\text{м}$ :

$$\Delta H = \Delta H_{\lambda} + \Delta H_{\text{м}} = \Delta h_{\lambda} \cdot (l + l_{\text{с}}) = S_y \cdot (l + l_{\text{с}}) \cdot V^2. \quad (6)$$

Питоме лінійне падіння тиску  $h_{\lambda}$ ,  $\text{м}/\text{м}$  визначається за формулою Д'Арсі

$$h_{\lambda} = \frac{\lambda \omega^2}{d \cdot 2g} = 6,35 \cdot 10^{-9} \cdot \lambda \cdot \frac{V^2}{d^5}, \quad (7)$$

де  $\lambda$  — коефіцієнт гідравлічного тертя;  
 $\omega$  — швидкість руху теплоносія,  $\text{м}/\text{с}$ ;  
 $d$  — внутрішній діаметр труби,  $\text{м}$ ;  
 $V$  — об'ємна витрата теплоносія,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Коефіцієнт гідравлічного тертя визначається за формулою [2]:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_{\text{с}}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}; \quad (8)$$

де  $k_{\text{с}} = 0,5 \text{ мм}$  або  $k_{\text{с}} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ , еквівалентна шорсткість трубопроводу для водяних теплових мереж, тоді формулу (8) можна представити у вигляді:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_{\text{с}}}{d} \right)^{0,25} \cdot a, \quad (9)$$

де  $a = \left( 1 + \frac{68d}{k_{\text{с}} \cdot \text{Re}} \right)^{0,25}$ .

При великих числах критерію Рейнольдса формула А. Д. Альтшуля (8) співпадає з формулою Б. Л. Шифрінсона:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_{\text{с}}}{d} \right)^{0,25}. \quad (10)$$

У даному випадку величина  $\lambda$  не залежить від витрати теплоносія, а лінійне падіння тиску в трубопроводі згідно з рівнянням (7) пропорційне квадрату витрати теплоносія, тоді  $h_{\lambda}$ ,  $\text{м}/\text{м}$  складає:

$$h_{\lambda} = \frac{0,7}{10^9} k_{\text{с}}^{0,25} \frac{V^2}{d^{5,25}}. \quad (11)$$

Питомий опір трубопроводу,  $\text{мм} \cdot \text{ч}^2 / (\text{м}^6 \cdot \text{м})$ .

$$S_y = \frac{h_{\lambda}}{V^2} = \frac{0,7}{10^2} \cdot \frac{k_{\text{с}}^{0,25}}{d^{5,25}}. \quad (12)$$

При  $k_{\text{с}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ , еквівалентна шорсткість трубопроводу:

$$S_y = \frac{1,05}{10^{10}} \cdot \frac{1}{d^{5,25}} \cdot [\text{м} \cdot \text{ч}^2 / (\text{м}^6 \cdot \text{м})] = \frac{1,05}{10^7 \cdot d^{5,25}}. \quad (13)$$

Значення питомих опорів трубопроводів залежно від їх діаметрів і представлені в табл.

**Таблица** — Питомые опоры трубопроводов при зміні діаметрів

1	Умовний прохід $D_y$ , мм	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
2	Внутрішній діаметр, $D_{вн}$ , мм	14	21	27	33	40	51	70	83	101	126	150
3	$S_y = \frac{1,05}{107} \cdot \frac{1}{d_{вн}^{5,25}} \text{ мм} \cdot \text{ч}^2 / (\text{м}^6 \cdot \text{м})$	567,6	67,5	18,1	6,3	2,3	0,64	0,121	$4,97 \cdot 10^{-2}$	$1,77 \cdot 10^{-2}$	$5,55 \cdot 10^{-3}$	$2,22 \cdot 10^{-3}$

Наявність узагальнених графіків тисків дозволяє здійснити підбір устаткування абонентських введень для місцевих систем опалення та гарячого водопостачання на ІТП з оптимальними параметрами, що знижує їх вартість і експлуатаційні витрати на перекачування теплоносіїв відповідних контурів в ПАУ з триконтурним теплообмінником.

### ВИСНОВКИ

Застосування триконтурних теплообмінників з баком-акумулятором гарячої води на індивідуальному тепловому пункті дозволить перейти на двотрубну закриту систему теплопостачання, що знижує металоємність системи теплопостачання майже вдвічі, а також дає можливість вирішити ряд питань, пов'язаних з гідравлічним режимом теплової мережі, таких як:

- зміна гідравлічного режиму в тепловій мережі не впливає на роботу місцевих систем опалення та гарячого водопостачання, оскільки вони приєднуються за незалежною схемою;
- відбувається перерозподіл теплових потоків між системами опалення та гарячого водопостачання протягом доби за рахунок акумулятивної здатності будівлі;
- значно скорочуються витрати з теплової мережі при розриві теплопроводу, так як місцеві системи мають свою циркуляцію, що оберігає їх від розмороження.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зингер, Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем [Текст] / Н. М. Зингер. — М. : Энергия, 1976. — 336 с.
2. Альтшуль, А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах [Текст] / А. Д. Альтшуль. — М. : Госэнергоиздат, 1963. — 256 с.
3. Бродский, Е. Ф. Горячее водоснабжение при теплофикации [Текст] / Е. Ф. Бродский. Л.—М. : Госстройиздат, 1961. — 136 с.
4. Олексюк, А. А. Энергоресурсосберегающие технологии для систем теплоснабжения [Текст] / А. А. Олексюк. — Макеевка : ДонНАСА, 2005. — 204 с. — ISBN 966-7477-54-1.
5. Николаева, А. А. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей [Текст] / А. А. Николаева. — М. : Стройиздат, 1965. — 359 с. — (Теплоэлектропроект).

Отримано 29.02.2012

#### А. А. ОЛЕКСЮК, Н. В. ДОЛГОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТЕПЛОЙ СЕТИ С НЕЗАВИСИМОЙ СХЕМОЙ ПРИСОЕДИНЕНИЯ С ПОДОГРЕВАТЕЛЬНО-АККУМУЛЯТОР- НОЙ УСТАНОВКОЙ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Исследуются гидравлические режимы работы тепловой сети с индивидуальными тепловыми пунктами и подогревательно-аккумуляторными установками для саморегулируемых абонентских систем отопления и горячего водоснабжения. Приведены результаты расчета гидравлического режима для различных технологических схем подключения подогревательно-аккумуляторной установки на индивидуальном тепловом пункте.

**система теплоснабжения, подогревательно-аккумуляторная установка, индивидуальный тепловой пункт, трехконтурный теплообменник, гидравлический режим**

ANATOLIY OLEKSUYK, NYKOLAY DOLGOV  
HYDRAULIC MODE OF THERMAL NETWORK WITH INDEPENDENT CHART OF  
JOINING OF SUBSCRIBER SYSTEMS OF HEATING AND HOT WATER-SUPPLY  
FROM INDIVIDUAL THERMAL POINTS WITH SETTING

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The hydraulic modes of operations of thermal network with individual thermal points and reheating accumulator plant for self-regulation user system of heating and hot-supply are examined. Results of calculation of the hydraulic mode for the different flowsheets of connecting of reheating accumulator plant on an individual thermal point have been resulted.

**system of heat supply, reheating accumulator plant, individual heat points, three-contour heat-transfer apparatus, hydraulic control**

**Олексюк Анатолій Олексійович** — доктор технічних наук, професор кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах теплопостачання за допомогою індивідуальних теплових пунктів, електрокалориферів з високотемпературними електродами, опалювальних довідників.

**Долгов Микола Вікторович** — асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах теплопостачання.

**Олексюк Анатолий Алексеевич** — доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения с помощью индивидуальных тепловых пунктов, электрокалориферов с высокотемпературными электродами, отопительных доводчиков.

**Долгов Николай Викторович** — ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения.

**Anatoliy Oleksuyk** — DSc (Eng.), professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply, and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: saving of energy in systems of heat supplying with a help of individual heat point.

**Nykolay Dolgov** — assistant lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply, and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: saving of energy resources in systems of heat supply.

УДК 725.41:624.131.253:699.8

**А. В. КУХАРЬ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ НА ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

В статье приведены основные рекомендации по проектированию зданий на карстоопасных территориях. Приведены конструктивные методы защиты зданий и сооружений на карстоопасных территориях. Предложена методика определения коэффициента разуплотнения грунта в зоне карстовой воронки.

**карст, воронка, здание, фундамент, деформация**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Карстовые районы относятся к территориям с особыми условиями строительства. При проектировании зданий и сооружений в этих районах следует пользоваться действующими нормативными документами с учетом особенностей проектирования зданий на карстоопасных территориях.

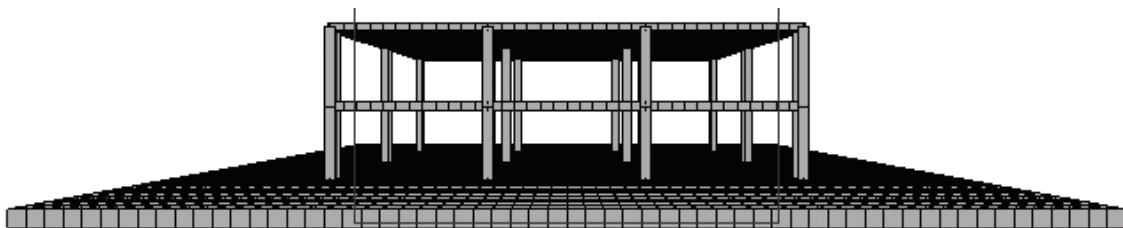
Исследования в области проектирования зданий на карстоопасных территориях недостаточно отражены в нормативной литературе. Поэтому этот вопрос требует детального рассмотрения.

**Цель статьи** — предоставить рекомендации для проектирования и расчета карстозащитных фундаментов, автоматизированных систем защиты от неравномерных оседаний основания, а также методику расчета коэффициента жесткости основания в зоне разуплотнения основания.

Конструктивную защиту зданий и сооружений рекомендуется выполнять по жесткой, гибкой или комбинированной схеме в зависимости от характера сооружения и степени карстовой опасности.

Строительство зданий и сооружений на отдельностоящих столбчатых фундаментах допускается лишь при введении кинематических систем, которые способны автоматически сохранять проектную отметку защищаемой конструкции от карстопроявления.

В практике освоения закарстованных территорий наибольшее распространение получили монолитные железобетонные фундаменты в виде сплошной плиты и перекрестных балок (рис. 1, 2).



**Рисунок 1** — Противокарстовый фундамент в виде сплошной плиты.

Для обеспечения необходимой жесткости и прочности фундаментов при воздействии карста в крайних участках исследуемого здания рекомендуется предусматривать консольные удлинения фундаментных балок и уширение фундаментной плиты за периметр сооружения. Длину балочных консолей рекомендуется принимать не менее 0,7 прогнозируемого расчетного провала. Плитную консоль нужно удлинять на не менее чем 0,4 расчетного провала.

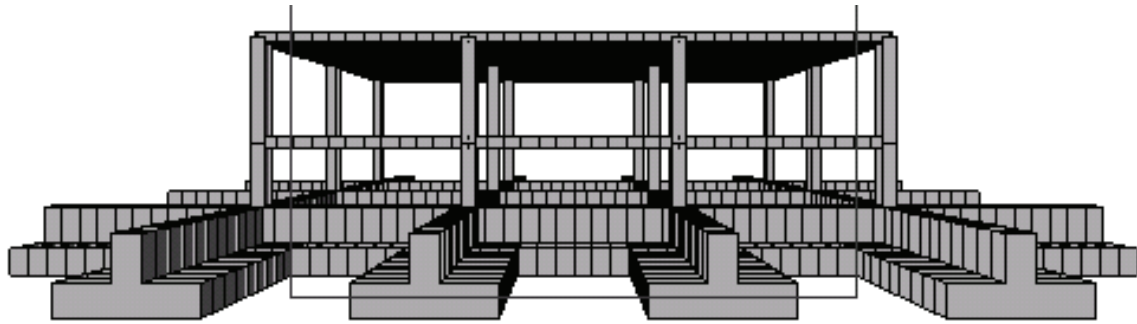


Рисунок 2 — Противокарстовый фундамент в виде перекрестных балок.

При расчете напряженно-деформируемого состояния фундаментных конструкций, проектируемых на карстоопасных территориях, рекомендуется учитывать совместную работу основания, фундаментов и верхнего строения.

Расчетную схему исследуемого здания следует представлять в виде ансамбля конечных элементов. Фундаментные балки моделируются стержневыми конечными элементами, а фундаментная плита моделируется пластинчатыми конечными элементами. Жесткостные параметры элементов фундамента задаются программно по их сечениям и модулю упругости бетона. Для фундаментной плиты и перекрестных балок предварительно вычисляются коэффициенты жесткости основания  $C_{1z}$ . Следующим этапом расчета является назначение расположения карстовой воронки. В местах образования карстового провала коэффициент жесткости основания принимается  $C_{1z} = 0$ . При этом рекомендуется учитывать зону разуплотнения грунта вокруг карстового провала, где коэффициенты жесткости основания будут переменными.

Расчет фундамента с учетом образования воронки в основании производится на основное сочетание нагрузок. При этом действующие нагрузки считаются длительными. Нагрузка от ветра не учитывается. При расчете фундаментов в виде сплошной плиты и в виде перекрестных балок на закарстованном основании допускается применять модель основания в виде линейно-деформируемого полупространства с воронкой у поверхности, имеющей форму шарового сегмента, с зоной разрыхленного грунта у границ воронки.

Размер карстового провала в плане (диаметр провала) является основным исходным параметром для выбора противокарстовой конструктивной защиты. Местоположение карстового провала в плане здания принимается наиболее неблагоприятным. Например, при проектировании фундаментов каркасного здания выполняются расчеты при расположении карстового провала под средними, крайними и угловыми колоннами и на основании этих расчетов определяются наиболее невыгодные сочетания расчетных усилий фундаментных конструкций и конструкциях надземной части здания.

В качестве противокарстовой конструктивной защиты зданий и сооружений рекомендуется также применять автоматические системы для компенсации деформации основания (рис. 3–7). Выбор

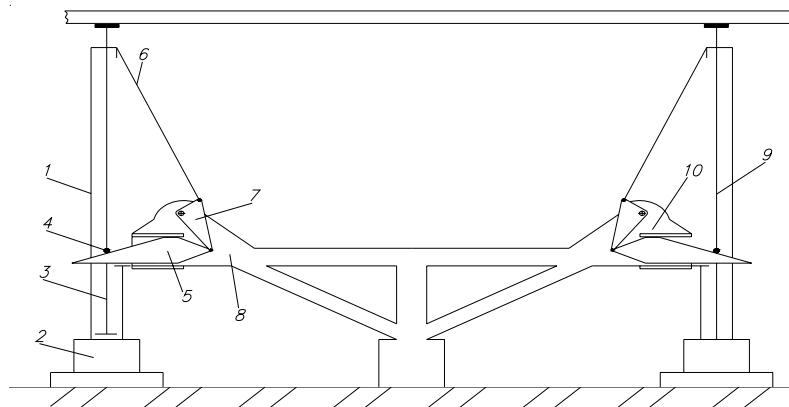
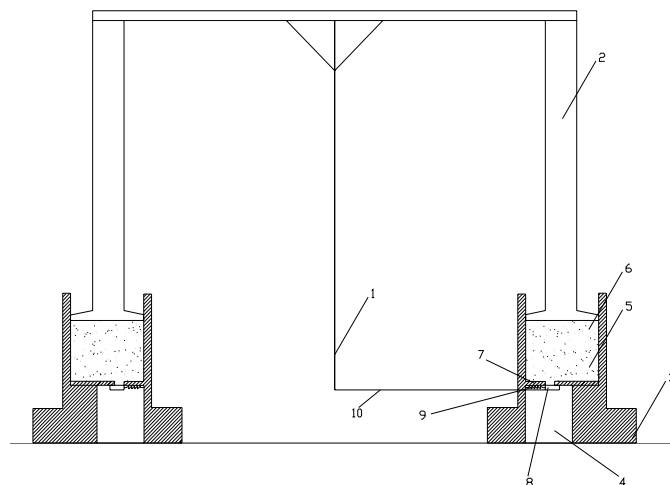


Рисунок 3 — Опора протяженных сооружений для оснований, которые деформируются (положение до деформации основания): 1 — телескопическая насадка, 2 — фундамент, 3 — колонна, 4 — штифт, 5 — конусообразная пластина, 6 — стержень, 7 — прямоугольный треугольник, 8 — опора.

кинематической системы осуществляется в зависимости от величин прогнозируемых деформаций основания при карстопроявлении и вида конструктивных элементов, защищаемых системой, которая автоматически срабатывает при неравномерных деформациях основания (таблица).

**Таблица** — Автоматические системы для компенсации деформации основания

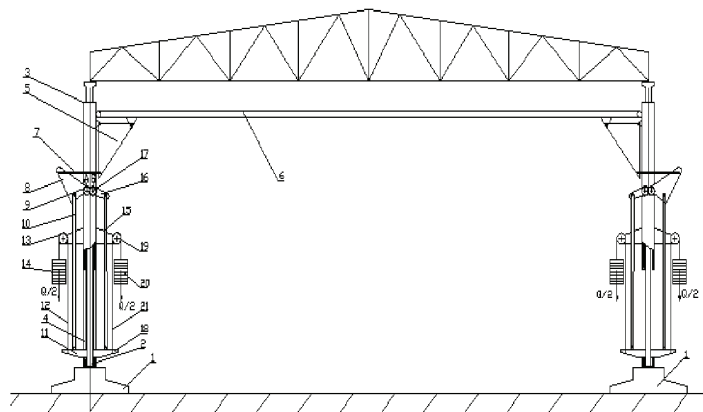
Наименование	Защищаемый элемент каркаса здания	Элемент каркаса, следующий за просадками основания	Прогнозируемые деформации основания и условия работы системы при карстопроявлении
Опора протяженных сооружений для оснований, которые деформируются	Надколонная конструкция	Фундамент, колонна	Диаметр воронки не превышает шаг колонн продольного ряда. Не допустимо оседание рядом расположенных колонн.
Устройство для автоматического сохранения положения конструкции	Надколонная конструкция, колонны	Фундамент, колонны	Сохранение проектной отметки верха колонны, если рядом стоящая колонна не попала в зону просадки основания.
Опора для автоматического сохранения горизонтального положения пролётной конструкции	Надфундаментная конструкция (балка, ферма)	Фундамент, колонны	Диаметр воронки не превышает шага колонн Сохранение горизонт. положения пролётной конструкции одновременно с началом проседания основания.
Каркас здания, сооружения, возведенных на оседающих основаниях.	Надколонная конструкция, колонны	Фундамент, колонны	Сохранение проектной отметки верха колонны, если хотя бы одна из колонн не попала в зону просадки основания.
Каркас для автоматической защиты сооружений от неравномерного проседания основания.	Надколонная конструкция, колонны.	Фундамент, колонны.	Сохранение проектной отметки верха колонны, если рядом стоящая колонна не попала в зону просадки основания.



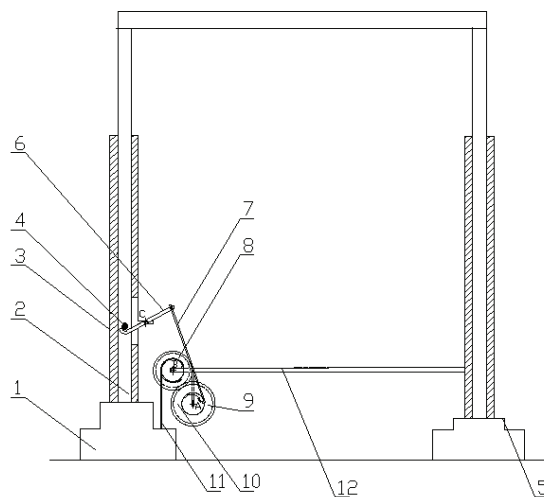
**Рисунок 4** — Устройство для автоматического сохранения положения конструкции (положение до деформации основания): 1 — маятник, 2 — колонна, 3 — фундамент, 4 — нижняя пустая камера, 5 — верхняя камера, 6 — сыпучее вещество (песок), 7 — пластина с отверстием, 8 — задвижка, 9 — пружина, 10 — жесткая тяга.

Системы автоматической компенсации деформаций основания следует, как правило, принимать в проектах экспериментального строительства. При этом в составе проекта экспериментального строительства разрабатываются рабочие чертежи автоматизированных систем, производится их испытание и доработка.

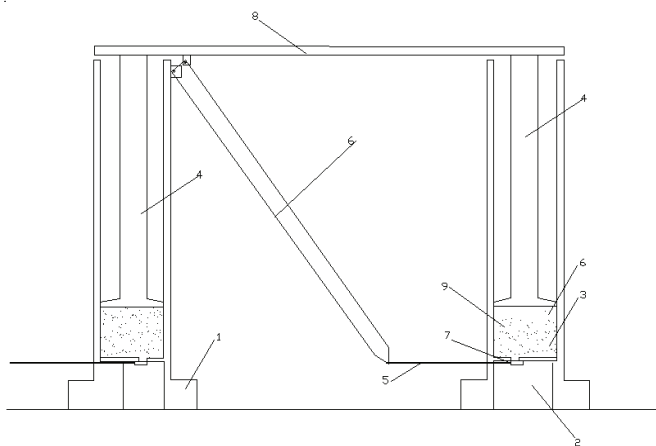
Предложенные конструктивные схемы каркасных зданий, проектируемых на карстовых территориях, реализующие метод автоматической компенсации локальных деформаций оснований, отличаются по видам выравниваемых элементов и формам деформационных воздействий. Классификация автоматизированных систем для компенсации деформаций основания приведена в таблице.



**Рисунок 5** — Опора для автоматического сохранения горизонтального положения пролётной конструкции:  
1 — фундаменты, 2 — колонна, 3 — телескопическая насадка, 4 — прорезы, 5 — верхний треугольник, 6, 16 — рычаг, 7, 10, 15 — стержни, 8 — нижний треугольник, 9, 17 — зубчатое колесо, 11, 18 — левая и правая консоли, 13, 19 — блоки, 14, 20 — передвижные противовесы, 21 — трос.



**Рисунок 6** — Каркас здания, сооружений, возведенных на оседающих основаниях: 1 — фундамент, 2, 5 — колонны, 3 — телескопическая насадка, 4 — штифт, 6 — коромысло, 7 — трос, 8, 9 — зубчатое колесо, 10, 11, 12 — стержни.



**Рисунок 7** — Каркас для автоматической защиты сооружений от неравномерного проседания основания:  
1 — фундаменты, 2, 9 — нижняя и верхняя камеры, 3 — сыпучее вещество, 4 — колонны, 5 — стержень, 6 — база колонны, 7 — задвижка, 8 — балка.

При проектировании зданий на деформируемом основании рекомендуется учитывать, что у границы карстовой воронки расположены зоны повышенной деформативности, а, в которых коэффициент жесткости основания изменяется от минимального значения у края воронки до значения, соответствующего ненарушенному основанию, на удалении от края воронки  $d/2$ , где  $d$  — диаметр карстовой воронки.

В местах предполагаемого образования карстовой воронки отпор грунта основания равен нулю.

Коэффициент жесткости основания в зоне разуплотнения карстовой воронки вычисляют по формуле:

$$C_z = K C_{z0}, \quad (1)$$

где  $C_{z0}$  — коэффициент жесткости ненарушенного основания;  
 $K$  — коэффициент разуплотнения, определяемый по формуле:

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

где  $d \geq 3$  м — диаметр карстовой воронки;  
 $d \geq r \geq d/2$  — расстояние от центра воронки до точки в зоне разуплотнения грунта, в которой определяется коэффициент жесткости.

При этом: при  $r < d/2$   $K = 0$ , а при  $r > d$   $K = 1,0$ .

Учет изменения коэффициентов жесткости основания в разуплотненной зоне вокруг карстового провала приводит к увеличению расчетных усилий в фундаментных конструкциях. В связи с этим учет этого неблагоприятного фактора при проектировании конструктивных мер защиты зданий на карстовых территориях является обязательным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрушев, Б. А. Основні проблеми карстового геоморфогенезу [Текст] / Б. А. Вахрушев // Укр. геогр. журнал. — 2002. — № 7. — С. 20–25.
2. Метелюк, Н. С. Фундаменты каркасных зданий на деформируемых основаниях [Текст] / Н. С. Метелюк, Л. П. Коновалова // Пром. строит. и инж. сооружения. — 1990. — № 1. — С. 26.
3. Пат. 23131 Украина, МКИ E02D27/34. Опора протяженных сооружений для оснований, которые деформируются [Текст] / А. В. Кухарь, В. Н. Виноградов; заявитель и патентообладатель А. В. Кухарь, В. Н. Виноградов. — № И 200613020; заявл. 11.12.2006; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 6. — 4 с.
4. Пат. 40238 Украина, МКИ E02D27/00. Каркас для автоматичного захисту споруд від нерівномірного просідання основи [Текст] / Г. В. Кухар, О. О. Петраков, В. М. Виноградов; власник Г. В. Кухар, О. О. Петраков, В. М. Виноградов. — № И 2000813497; заявл. 24.11.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. — 4 с.
5. Пат. 40240 Украина, МКИ E02D27/00. Пристрій для автоматичного збереження положення конструкції [Текст] / Г. В. Кухар, О. О. Петраков, В. М. Виноградов; власник Г. В. Кухар, О. О. Петраков, В. М. Виноградов. — № И 200813502; заявл. 24.11.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. — 4 с.
6. Толмачев, В. В. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий [Текст] / В. В. Толмачев, Г. М. Троицкий, В. П. Хоменко. — М.: Стройиздат, 1986. — 177 с.

Получено 01.03.2012

Г. В. КУХАРЬ

#### ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ НА ДЕФОРМОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті наведені основні рекомендації по проектуванню будівель на карстонебезпечних територіях. Наведені конструктивні заходи щодо захисту будівель і споруд на карстонебезпечних територіях. Запропонована методика визначення коефіцієнта ущільнення ґрунту в зоні карстової воронки.

**карст, воронка, будівля, фундамент, деформація**



HANNA KUKHAR

PECULIARITY OF BUILDING DESIGN AT DEFORMED TERRITORIES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Article deals with basic recommendations on building design at karst territories. The structural methods of defence of buildings and constructions at karst territories have been resulted. The method of determination of coefficient of soil loosening in karst funnel zone has been proposed.

**karst, funnel, building, understructure, displacement**

**Кухар Ганна Володимирівна** — асистент кафедри основ, фундаментів та підземних споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: будівництво будівель і споруд на карстонебезпечних територіях.

**Кухарь Анна Владимировна** — асистент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: строительство зданий и сооружений на карстоопасных территориях.

**Hanna Kukhar** — assistant, Foundation, Displacement and Underground Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: building construction at karst territories.

УДК 697.353.2

**А. А. ОЛЕКСЮК, И. Г. ШИТИКОВА, А. А. ГОРДЕЛЮК**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННИКОВ ЗМЕЕВИКОВОГО ТИПА ДЛЯ НЕЗАВИСИМЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

В статье рассмотрена характеристика установок для систем отопления и горячего водоснабжения, которая может быть запроектирована для независимых схем подключения местных систем отопления и горячего водоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий. Разрешается проблема саморегулирования тепловых нагрузок между системами отопления и горячего водоснабжения и выравнивания графиков неравномерностей суточного водопотребления в системах горячего водоснабжения. Установлено, что увеличение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи позволяет уменьшить металлоемкость подогревателя. Подтверждено повышение эффективности теплообмена между теплоносителями и уменьшение величины поверхности нагрева для систем горячего водоснабжения за счет объема аккумулятора. Методика конструктивного расчета позволяет оптимизировать ПАУ и повысить эффективность теплообмена.

**подогревательно-аккумуляторная установка, трехконтурный теплообменник, система независимого теплоснабжения**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Системы теплоснабжения и горячего водоснабжения являются крупнейшими потребителями топливно-энергетических ресурсов в стране. За последнее время все большее распространение получают установки с независимым присоединением местных систем отопления и горячего водоснабжения в крупных городских системах централизованного теплоснабжения. Существенный перерасход тепловой энергии в жилых и общественных зданиях обусловил повышенные требования к надежности и качеству теплоносителя систем теплоснабжения. Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами в практику теплофикации и горячего водоснабжения позволяет резко повысить технический уровень эксплуатации этих систем и обеспечить значительную экономию топлива, предотвратит сети от размораживания в случае прекращения циркуляции во внешней теплосети. Таким образом, проблема повышения качества, надежности, экономичности теплоснабжения имеет государственное значение.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Индивидуальное теплоснабжение повышает надежность и бесперебойность в работе и ликвидирует коррозию местных систем отопления из-за циркуляций в них одной и той же воды, прошедшей соответствующую водоподготовку перед их заполнением.

Независимое присоединение местных систем отопления и горячего водоснабжения требует установку водяных подогревателей для каждой из них, а также циркуляционных насосов, соответствующих контуров.

Циркуляция воды контуров осуществляется при помощи насосов, а заполнение и подпитка местных абонентских систем производится из обратной линии тепловой сети с помощью специальных подпиточных насосов.

В летний период система отопления отключается при помощи соответствующих задвижек, оставаясь заполненной водой, а циркуляция теплоносителя происходит через обводную линию.

Регулирование статического напора в местных системах осуществляется регулятором подпитки, который поддерживает заданный напор после себя или заданный уровень в расширительном баке (при температуре воды ниже  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), установленном в верхней точке системы отопления [1].

Применение компактных малогабаритных ПАУ на ИТП позволяет уменьшить расчетную поверхность теплообменника почти вдвое и перераспределять тепловые потоки между системами отопления и горячего водоснабжения в течение суток. Так, в часы максимального водоразбора на горячее водоснабжение система отопления недополучает расчетного расхода теплоты, но возмещает его при снижении расхода горячей воды. Теплоснабжение от ИТП с ПАУ значительно повышает качество теплоснабжения, так как отклонения температуры внутреннего воздуха в помещениях не превышают  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## ЦЕЛИ

Особую актуальность приобретают компактные малогабаритные установки ПАУ для зданий различного назначения, обеспечивающие комфортные условия во всех помещениях с помощью системы отопления и горячего водоснабжения. Данный подход учитывает перераспределения тепловых потоков между системой отопления и горячего водоснабжения в течение суток в трехконтурном теплообменнике, установка стабилизирует работу системы теплоснабжения с максимальным водоразбором.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Существует несколько видов тепловых расчетов теплообменных аппаратов. Один из них конструктивный или проектный расчет.

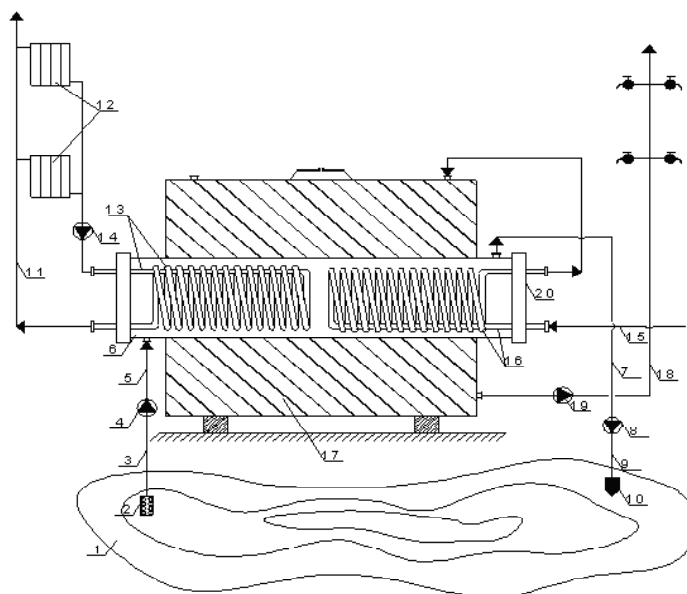
Конструктивный расчет делают при проектировании теплообменного аппарата, когда известны или заданы расходы теплоносителей и их параметры на входе и выходе теплообменного аппарата.

Целью конструкторского расчета является определение величины поверхности теплообмена выбранного теплообменного аппарата.

Поверочный тепловой расчет выполняется для выявления возможности использования готовых стандартных теплообменных аппаратов для тех или иных целей, определяемых технологическими требованиями [2].

Нами рассматривается новая конструкция симметричного разборного теплообменника змеевикового типа для систем отопления и горячего водоснабжения зданий различной этажности застройки.

Схема симметричного разборного теплообменника змеевикового типа с аккумулятором горячей воды представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1** — Продольное сечение симметричного разборного теплообменника змеевикового типа с аккумулятором горячей воды.

Симметричный разборный теплообменник змеевикового типа для систем отопления и горячего водоснабжения от альтернативного источника теплоты работает следующим образом.

Определенный теплоноситель с температурой 150–200 °С геотермального источника 1 через фильтр насадку 2 по подъемной скважине 3 с помощью насоса 4 через линию подводки первичного теплоносителя 5 поступает в межтрубное пространство разъемного трехконтурного теплообменника 6, в котором охлаждается до 60–65 °С и по соответствующей линии 7 с помощью насоса 8 через опускную скважину 9 и сбросовую насадку 10 сбрасывается в геотермальный источник. Геотермальная вода 1 отдает свою теплоту через теплообменную емкость-змеевик 13, циркулирующему по замкнутому отопительному контуру 11, через обогревательные потребителя элементы 12, где охлаждается от 90–100 °С до температуры 65–70 °С с помощью циркулирующего насоса 14, затем опять возвращается в теплообменную емкость-змеевик 13 за новым зарядом теплоты. Через теплообменную емкость-змеевик 16, водопроводная вода 15 нагревается геотермальной водой 1, в котором передается теплота третьему теплоносителю, циркулирующему по разомкнутому контуру, связанному с аккумулирующей емкостью 17, через линию подводки 15 из водопровода. Этот теплоноситель обычной температурой 5...15 °С подогревается в теплообменной емкости змеевикового типа 16 до температуры 55 °С, откуда поступает в аккумулирующую емкость 17, из которой в систему водоразбора подается по линии 18 с помощью повышающего насоса 19 в систему горячего водоснабжения.

Для чистки змеевиковых теплообменных поверхностей 13 и 16 от накипи предусмотрено разборные фланцы 20 и 21 на торцах трехконтурного теплообменника. Змеевик контура системы отопления соединен своими концами с фланцем 21, а контур системы горячего водоснабжения с фланцем 20 находится с противоположной стороны трехконтурного теплообменника, такое размещение змеевика второго и третьего контуров позволяет чинить теплообменные поверхности и очищать их от грязи и накипи.

Расчет теплообменников змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения от альтернативного источника теплоты основан на совместном решении уравнения теплового баланса и уравнения теплопередачи [3].

Расчетная поверхность теплообмена определяется как

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cm}}, \quad (1)$$

а для трехконтурного теплообменника

$$F = F_1 + F_2, \quad F_1 = \frac{Q_0}{k_1 \cdot \Delta t_1^{cp}}, \quad F_2 = \frac{Q_{ог}}{k_2 \cdot \Delta t_2^{cp}}, \quad (2)$$

где  $Q_0$  и  $Q_{ог}$  — расчетные расходы теплоты на отопление и горячее водоснабжение, Вт;  
 $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты теплопередачи соответствующих контуров, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\Delta t_1^{cp}$  и  $\Delta t_2^{cp}$  — средние температурные нормы, °С.

Конструктивно поверхности нагрева  $F_1$  и  $F_2$  для змеевикового теплообменника определяются из выражения

$$F_1 = L_1 \cdot \pi d_1^{Tp}, \quad F_2 = L_2 \cdot \pi d_2^{Tp}, \quad (3)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  — общие длины змеевиков одинаковы, для соответствующих контуров систем отопления и горячего водоснабжения, м;  
 $d_1^{Tp}$  и  $d_2^{Tp}$  — наружные диаметры трубок змеевиков, м.

Общая длина змеевиков  $L_1$  и  $L_2$  определяется из выражения

$$L_{1,2} = l_{1,2} \cdot n_1 = \pi D_{зми} \cdot n, \quad (4)$$

где  $D_{зми}$  — диаметры витка змеевиков для систем отопления и горячего водоснабжения, м;  
 $l_1$  и  $l_2$  — длины одного витка змеевиков, м;  
 $n_1$  и  $n_2$  — число витков змеевиков, штук.

Характер расчетной зависимости для определения напора  $\Delta t_{cp}$  зависит от направлений взаимного движения теплоносителей.

При противотоке и прямотоке, а также при постоянной температуре одной из сред.

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}, \quad (5)$$

где  $\Delta t_m$  и  $\Delta t_{\delta}$  — соответственно меньший и больший температурный напор между теплоносителями и по краям поверхности теплообмена, °C.

Для трехконтурного теплообменника определяются температурные напоры  $\Delta t_{cp}$ , °C.

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1^I - t_2^{II}) - (t_1^{II} - t_2^I)}{\ln \frac{t_1^I - t_2^{II}}{t_1^{II} - t_2^I}}, \quad (6)$$

где  $t_1^I$  и  $t_2^{II}$  — температуры греющего теплоносителя на входе в аппарат и выходе из него, °C;  
 $t_1^{II}$  и  $t_2^I$  — температуры нагреваемого теплоносителя на входе и выходе для отопительного контура и контура горячего водоснабжения, °C.

Для расчета коэффициента теплоотдачи рекомендуется соотношение коридорного пучка труб змеевикового типа

$$\overline{N}_u = 0,22 \text{Re}^{0,65} \text{Pr}^{0,36} \left( \frac{\text{Pr}^{ac}}{\text{Pr}^{cn}} \right)^{0,25}, \text{ при } \text{Re} > 10^3. \quad (7)$$

Коэффициенты теплопередачи для контуров системы отопления и горячего водоснабжения, змеевиков определяются по выражению, Вт/(м²·C),

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1-1}} + \frac{\delta_{mp1}}{\lambda_{mp1}} + \frac{\delta_{нак1}}{\lambda_{нак1}} + \frac{1}{\alpha_{2-1}}}, \quad K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1-2}} + \frac{\delta_{mp2}}{\lambda_{mp2}} + \frac{\delta_{нак2}}{\lambda_{нак2}} + \frac{1}{\alpha_{2-2}}}. \quad (8)$$

Суммарный коэффициент теплопередачи для трехконтурного теплообменника змеевикового типа составит

$$K_{общ}^{3-x} = \frac{K_1 F_1 + K_2 F_2 + K_3 F_3^{mo}}{F + F_3^{mo}}, \quad (9)$$

где  $K_3$  — коэффициент теплопередачи через корпус теплообменника горячей воде, находится в емкости бака-аккумулятора ПАУ с трехконтурным теплообменником, Вт/(м² · C°);  
 $F_3$  — поверхность корпуса теплообменника, м².

Поверочный расчет производится по уравнению теплового баланса ПАУ, Вт,

$$Q_{ПАУ}^{3-x} = K_{общ}^{3-x} \cdot F_{общ}^{3-x} \cdot \Delta t_{cp}^{3-x} + Q_{ном}, \quad (10)$$

где

$$F_{общ}^{3-x} = F_1^{om} + F_2^{ze} + F_3^{mo} \quad (11)$$

Объем аккумулирующей емкости можно определить по формуле, м³,

$$V_{БА} = \frac{m \cdot a}{12} \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

где  $a = 100...200$  л/чел. — норма горячей воды.

Оптимизация габаритных размеров ПАУ с трехконтурным теплообменником для индивидуальных тепловых пунктов заводского изготовления потребовала решение системы уравнений с помощью ПЭВМ [6].

Использование программы расчета ПАУ позволило определить динамические характеристики сложного теплообмена, протекающего в аппарате, а именно:

— определить оптимальные скорости движения теплоносителей;

- вибрати діаметри трубок відповідуючих контурів;
- оптимізувати довжину для забезпечення стабільного ефективного тепломасообміну;
- величину об'єму акумулюючої ємкості;
- забезпечити розрахункову температуру нагріваних теплоносієв для систем опалення і гарячого водопостачання, а також їх витрат.

Оптимальну довжину трьохконтурного теплообмінника для ПАУ можна приймати від 2,6 до 3,0 м.

В цілому можна визначити і оптимальні розміри всієї конструкції ПАУ з трьохконтурним теплообмінником для ІТП заводського виготовлення в залежності від числа жителів в будинку [5].

## ВЫВОДЫ

Оптимальная длина ПАУ на ИТП составляет от 2,6 до 3,0 м. Такие установки могут быть запроектированы на ИТП здания любой этажности и обеспечивать гидравлическую изолированность местных систем отопления, повысить их устойчивость и надежность.

Наличие аккумулирующей емкости в ПАУ позволит сгладить пиковые нагрузки на графиках суточного водопотребления в системе горячего водоснабжения.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олексюк, А. О. Створення енергоресурсозберігаючих систем геотермального теплопостачання з використанням сонячної енергії та теплових насосів [Текст] / А. О. Олексюк, С. О. Челапко, А. А. Горделюк // Вісті автомоб.-дорожнього ін-ту. — Горлівка : Вид-во АДІ, 2011. — № 1(12). — С. 143–150. — ISSN 1990-7796.
2. Олексюк, А. О. Оптимізація енергоресурсозберігаючих установок для геотермального теплопостачання житлових і громадських будинків [Текст] / А. О. Олексюк, С. О. Челапко // Вісті автомоб.-дорожнього ін-ту. — Горлівка : Вид-во АДІ, 2010. — № 2(11). — С. 140–144. — ISSN 1990-7796.
3. Олексюк, А. О. Методика розрахунку триконтурних ТО для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання [Текст] / А. О. Олексюк, С. О. Челапко // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук. техн. зб. / КНУБА. — К. : Вид-во КНУБА, 2009. — Вип. 13. — С. 13–18.
4. Олексюк, А. А. Математическая модель процессов теплообмена в трёхконтурных ТО с аккумулятором теплоты [Текст] / А. А. Олексюк, Н. В. Долгов // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. — Макіївка, 2010. — Вип. 2010-6(86) : Інженерні системи та техногенна безпека. — С. 123–130. — ISSN 1814-3296.
5. Установки з незалежним приєднанням систем опалення та гарячого водопостачання за допомогою триконтурних ТО та вибір їх оптимальних параметрів [Текст] / А. О. Олексюк, М. В. Долгов, Н. А. Максимова, А. А. Горделюк // Сучасне промислове та цивільне будівництво. — 2011. — Т. 7, № 1. — С. 43–50. — ISSN 1993-3495.
6. Олексюк, А. А. Саморегулирующие энергоресурсосберегающие системы теплоснабжения от ИТП с ПАУ для независимых систем отопления и горячего водоснабжения ЖКХ городов Украины [Текст] / А. А. Олексюк, Н. В. Долгов // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. — Макіївка, 2011. — Вип. 2011-5(91) : Інженерні системи та техногенна безпека. — С. 87–92. — ISSN 1814-3296.
7. Манюк, В. И. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей [Текст] / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж. — М. : Стройиздат, 1987. — 215 с.
8. Чистович, С. А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления [Текст] / С. А. Чистович. — Л. : Стройиздат, 1975. — 158 с.

Получено 01.03.2012

## А. О. ОЛЕКСЮК, І. Г. ШИТІКОВА, А. А. ГОРДЕЛЮК МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООБМІННИКІВ ЗМІЄВИКОВОГО ТИПУ ДЛЯ НЕЗАЛЕЖНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглянута характеристика установок для систем опалення та гарячого водопостачання, яка може бути запроектована для незалежних схем підключення місцевих систем опалення і гарячого водопостачання житлових, громадських та промислових будівель. Вирішується проблема саморегулювання теплових навантажень між системами опалення та гарячого водопостачання і вирівнювання графіків нерівномірностей добового водоспоживання в системах гарячого водопостачання. Встановлено, що збільшення коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі дозволяє зменшити металоємність

підігрівача. Підтверджено підвищення ефективності теплообміну між теплоносіями і зменшення величини поверхні нагріву для систем гарячого водопостачання за рахунок об'єму акумулятора. Методика конструктивного розрахунку дозволяє оптимізувати ПАУ і підвищити ефективність тепломасообміну.

**підігрівально-акумуляторна установка, триконтурний теплообмінник, система незалежного теплопостачання**

**ANATOLIY OLEKSIUK, IRINA SHITIKOVA, ARTEM GORDELIUK  
MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION OF HEAT EXCHANGERS OF A  
COILED TYPE FOR HEATING AND HOT WATER SUPPLY INDEPENDENT  
SYSTEMS**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The article concerns the description of units for the heating and hot water supply systems, that can be designed within for independent circuits of local heating and hot water supply systems of dwelling houses, public and industrial buildings. The problem of self-regulation of thermal loads between the heating and hot water supply systems and of adjustment of charts of unevenness of daily water consumption in hot water supply systems is solved. Adjustly, the increase of heat irradiation and heat transfer coefficients allows to reduce the specific quantity of metal of the heater. The increase of effectiveness of heat exchange between heat-transfer agents and reduction of the size of heating surface for the hot water supply systems at the expense of the storage battery capacity are confirmed. The methods of constructive calculation allow to optimize HSU and increase the effectiveness of heat mass exchange.

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

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

**Шитикова Ірина Геннадіївна** — магістрант Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах ТГВ.

**Горделюк Артем Андрійович** — магістрант Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах ТГВ.

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

**Шитикова Ирина Геннадиевна** — магистрант Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах ТГВ.

**Горделюк Артем Андреевич** — магистрант Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах ТГВ.

**Anatoliy Oleksiuk** — DSc (Eng.), professor, Heat Engineering, Heat Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: theory, calculation and designing energy recourse saving heat supply systems with individual heat points and multistage heat exchanger.

**Irina Shitikova** — postgraduate student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy resource in the systems HGSV.

**Artem Gordelyuk** — postgraduate student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy resource in the systems HGSV.

УДК 628:332

Э. И. САЛИЕВ

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

## ДИАГНОСТИКА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

В статье рассмотрены пути оптимизации водопроводной сети, позволяющие получать решения с учетом представлений и пожеланий проектировщика, при этом расширяя аналитические возможности служб. Приведены методы решения данных задач. Проанализированы модели, позволяющие формализовать процесс решения гидравлических и оптимизационных задач на сетях в условиях неопределенности и неполноты исходных данных. Рассмотрены технологические осложнения, возникающие при эксплуатации наружных водопроводных сетей. Представлены модели, описывающие состояние водопроводной сети.

**инженерные сети, системы подачи и распределения воды, функциональная и структурная диагностика, данные для диагностики, комплексная методология, характеристики инженерной сети, технологические осложнения, задача функциональной и структурной диагностики, целевая модель водопроводной сети**

Технический прогресс в развитии инженерных сетей предъявляет высокие требования к надежности и безопасности работы систем подачи и распределения воды. Многоуровневые разветвленные системы трубопроводов являются неотъемлемой частью современного города.

В обслуживании у коммунальных служб находятся трубопроводные системы, построенные несколько десятилетий назад и находящиеся сегодня в неудовлетворительном состоянии. В настоящее время на процесс эксплуатации инженерных сетей наиболее ощутимое влияние оказывают два фактора. Внешний — рост доли выплат за потребленную электроэнергию при транспортировке воды и стоков, внутренний — износ существующих коммуникаций и оборудования. Экстраполируя на ближайшую перспективу, можно гарантировать усугубление ситуации в связи с дальнейшим ростом тарифов в энергетике. С другой стороны, техническое состояние действующих инженерных систем представляет собой значительную угрозу экономического и экологического характера.

В связи с этим, при недостатке или неопределенности исходных данных, особое значение приобретают исследования по поиску оптимальных решений при проектировании (планировании) этих сооружений, их реконструкции, сетевой идентификации, обнаружению утечек, несанкционированных отборов, внутритрубных коррозионных образований.

При решении данного класса задач основная проблема заключается в построении соответствующей модели инженерной системы. Такая модель должна учитывать большое количество факторов, условия неопределенности и позволять «заглянуть в будущее» на достаточное для задач оптимизационного планирования количество шагов. Для реальных инженерных объектов процесс выбора подлежащих замене элементов не может быть четко унифицирован и сведен к решению одной конкретной задачи. Невозможно также построение последовательной универсальной цепочки взаимодействия математических задач, решение которых позволило бы рассматривать процесс составления плана реконструкции как детерминированный. Решающую роль при решении подобных задач имеет опыт инженера. Учитывая существование противоречивых требований и наличие неопределенностей, с которыми сталкивается лицо, принимающее решения, нельзя рассчитывать на надежные результаты. В процессе решения подобных задач значительное время занимает неформальный анализ и поиск компромиссов. Это приводит к использованию оптимизационных моделей, которые должны быть только лишь вспомогательным элементом.

Функциональная и структурная диагностика представляет собой особую разновидность ранее не решавшихся обратных задач потокораспределения. Исходные данные для диагностики выводятся



по результатам пьезометрических съемок и статистических данных эксплуатационных организаций и получаются информационно неполными и недостоверными. Задачей диагностики является оценка степени проявления технологических осложнений на участках сети — утечек, несанкционированных отборов, коррозионного зарастания.

Методология комплексной диагностики является способом повышения надежности работы системы подачи и распределения воды за счет предотвращения аварий путем предупреждения малых утечек, разработки оптимальной стратегии реновации; снижения энергоемкости за счет мониторинга несанкционированных отборов и коррозионного зарастания трубопроводов. Применение «вычислительных технологий» при моделировании систем позволит получать решения оптимизационных задач с учетом представлений и пожеланий проектировщика. Необходимо разработать программное обеспечение для моделирования СПРВ в условиях неопределенности и решения диагностических задач, позволяющее повысить эффективность принятия решений, расширить аналитические возможности служб.

Для построения таких моделей применяется комплексная методология «эволюционного моделирования» («вычислительные технологии»), позволяющая формализовать процесс решения гидравлических и оптимизационных задач на сетях в условиях неопределенности и неполноты исходных данных.

Задача сетевой диагностики заключается в определении набора параметров (характеристик) инженерной сети, проявляющих себя при ее эксплуатации. Эти характеристики делятся на две группы.

Первая группа структурных характеристик определяет топологическую эффективность сети, структурные связи между ее отдельными элементами. С математической точки зрения это набор матриц, полностью определяющих структуру схемы водопроводной сети.

Вторая группа функциональных характеристик является показателем эксплуатационной эффективности, указывающая на наличие или отсутствие технологических осложнений на участках сети.

Под технологическим осложнением понимается нежелательное отклонение одной или нескольких функциональных характеристик от проектных. Классические постановки идентификационной задачи предполагают выявление степени проявления какого-либо одного осложнения, например, изменения коэффициента гидравлического трения вследствие внутренней коррозии.

Рассмотрим три типа технологических осложнений при эксплуатации наружных водопроводных сетей: несанкционированные отборы, утечки, коррозионное зарастание. Под несанкционированным отбором понимается превышение расходов воды у потребителей выше установленных норм, что может быть обусловлено: а) самовольным подключением абонентов к магистральным сетям, б) значительными утечками на внутренних сетях водопровода. Утечки на наружных сетях представляют собой полностью убыточные потери воды, связанные с нарушением герметичности системы подачи воды вследствие целого ряда факторов. Коррозионное зарастание — это изменение внутренней структуры участков трубопроводов вследствие коррозии и отложений на поверхности труб, приводящее к увеличению сопротивления движения воды за счет изменения шероховатости труб.

Задачу диагностики, в которой учитывается возможность проявления нескольких технологических осложнений одновременно, приводящих к нарушению целостности сети и утрате части ее функциональных возможностей, можно называть задачей функциональной и структурной диагностики. Задача функциональной и структурной диагностики заключается в том, чтобы по имеющемуся набору исходных данных определить степень проявления ряда технологических осложнений на отдельных участках сети, характеризующих ее функциональную и структурную надежность.

При решении такой задачи необходимо учитывать неопределенность, которая заключается в невозможности дать точечную численную характеристику ряду параметров. Это относится не только к описательным характеристикам, но также и к количественным (например, информация о диаметрах участков).

Неопределенность проявляется вследствие нечеткого подхода: во-первых, при использовании моделей, а также нерегулярными явлениями в сети; во-вторых, сама природа неопределенностей при рассмотрении инженерных объектов в большинстве случаев не является случайной; в-третьих, значительная часть информации, необходимой для диагностики, существует в форме представлений или пожеланий экспертов.

При рассмотрении комбинированной задачи не может быть гарантировано точность и единственность принятого решения.

Некорректно поставленная комбинированная задача функциональной и структурной диагностики представляется как задача оптимизации параметров системы по отношению к заданной функции, характеризующей степень адекватности решений.

Среди моделей, описывающих состояние водопроводной сети, можно выделить базовые, характеризующие функционирование системы в целом. К таким моделям относятся модели потокораспределения, отбора воды из сети, использования энергии на ее участках, а также модели работы насосного и пневматического оборудования. Другая группа моделей описывает процессы, дестабилизирующие нормальный эксплуатационный процесс. К этой группе отнесены модели аварийных утечек, коррозионного зарастания, несанкционированных отборов, технического состояния. При этом важно отметить, что эти модели описывают одну и ту же систему в один и тот же момент времени, следовательно, результаты расчета по данным моделям не должны до определенной степени противоречить друг другу.

Для поиска решения задачи необходимо построить целевую модель, учитывающую большое количество факторов. При этом следует обеспечить гибкость целевой функции, обусловленную неопределенностью исходных данных и взаимоисключающим характером локальных моделей.

Результат работы диагностической задачи должен быть доступен для анализа лицом, принимающим решения, и лишь он должен осуществить выбор наиболее подходящего варианта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А. В. Применение нечеткой математики в задачах принятия решений [Текст] / А. В. Алексеев // Методы и системы принятия решений / Рижский политехнический институт. — Рига : РПИ, 1983. — С. 38–42.
2. Аленфельд, Г. Введение в интервальные вычисления [Текст] / Г. Аленфельд, Ю. Херцбергер. — М. : Мир, 1987. — 360 с.
3. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных [Текст] / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. — М. : Финансы и статистика, 1983. — 471 с.
4. Аоки, М. Введение в методы оптимизации [Текст] / М. Аоки. — М. : Наука, 1977. — 344 с.
5. Бердичевский, Б. Е. Оценка надежности аппаратуры автоматики [Текст] / Б. Е. Бердичевский. — М. : Машиностроение, 1966. — 604 с.
6. Евдокимов, А. Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. — М. : Стройиздат, 1990. — 368 с.
7. Евдокимов, А. Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов. — Харьков : Вища школа, 1976. — 153 с.
8. Салієв, Е. І. Управління інфраструктурними проектами у сфері комунальних послуг Автономної Республіки Крим [Текст] / Е. І. Салієв // Економіка і держава. — 2007. — № 6. — С. 55–58.
9. Салиев, Э. И. К проблеме энергосбережения в коммунальной теплоэнергетике Автономной Республики Крым [Текст] / Э. И. Салиев // Промышл. теплотехника. — 2006. — № 5. — С. 66–69.
10. Салиев, Э. И. Модернизация системы водоснабжения на основе комплексной оценки проблемы и средств примененных в ее решении [Текст] / Э. И. Салиев // ЭСТА. — 2007. — № 6. — С. 26–30.
11. Салиев, Э. И. Методика оценки технико-экономической эффективности гидромашин насосных станций систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / Э. И. Салиев // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. — Симферополь : Изд-во КИПУ, 2008. — Вып. 16. — С. 22–25.

Получено 01.03.2012

Е. І. САЛІЄВ

### ДІАГНОСТИКА ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ПОДАЧІ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ВОДИ

Національна академія природоохоронного і курортного будівництва

У статті розглянуто шляхи оптимізації водопровідної мережі, які дозволяють отримувати рішення з урахуванням уявлень і побажань проектувальника, при цьому розширюючи аналітичні можливості служб. Наведено методи вирішення цих завдань. Проаналізовано моделі, що дозволяють формалізувати процес розв'язання гідравлічних і оптимізаційних задач на мережах в умовах невизначеності та неповноти вихідних даних. Розглянуто технологічні ускладнення, що виникають при експлуатації зовнішніх водопровідних мереж. Представлені моделі, що описують стан водопровідної мережі.

**інженерні мережі, системи подачі та розподілення води, функціональна та структурна діагностика, дані для діагностики, комплексна методологія, характеристики інженерної мережі, технологічні ускладнення, задача функціональної та структурної діагностики, цільова модель водопровідної мережі**

ENVER SALIEV

TEST OPERATION DURING OPTIMIZATION OF WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEM

National Academy of Nature Protection and Resort Building

The article deals with ways to optimize the distribution network, allowing to obtain the solution, taking into account views and wishes of the designer, while expanding the analytical capabilities of services. We present methods for solving these problems. Models allow to formalize the process of hydraulic solutions and optimization problems on networks in the face of uncertainty and incompleteness of the source data have been analyzed. Technological complications arising during the operation of external water supply networks have been considered. Models describing the state of water supply network have been presented. **engineering networks, water supply and distribution system, functional and structural test operation, data for the test operation, the complex methodology, characteristics of network engineering, technological complications, the problem of functional and structural test operation, destination model of a water supply system**

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

**Салиев Энвер Ибрагимович** — к. н. гос. управ., доцент кафедры водоснабжения и санитарной техники Национальной академии природоохранного и курортного строительства. Научные интересы: менеджмент и экономика предприятий, новые материалы и современные технологии при строительстве и реконструкции сооружений водоснабжения и водоотведения.

**Enver Saliev** — Public Management, associate professor, Water Supply and Sanitary Engineering Department, National Academy of Nature Protection and Resort Building. Scientific interests: management and enterprises economic, new materials and modern technologies during reconstruction and building of water supply and water removal.

УДК 628.336.098.2

**В. А. КОВАЛЬЧУК**

Національний університет водного господарства та природокористування

## **АВТОТЕРМОФІЛЬНА АЕРОБНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД**

Запропонована методика аналізу процесу автотермофільної аеробної стабілізації суміші сирого осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу з урахуванням необхідного ступеня розпаду її беззольної речовини та способу попереднього ущільнення надлишкового активного мулу  
**аеробна стабілізація, автотермофільний процес, розпад беззольної речовини**

### **ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ**

У порівнянні з метантенками аеробні стабілізатори мають значно простішу конструкцію, не складні в експлуатації, вибухобезпечні, а процес аеробної стабілізації менш чутливий до наявності в осадах токсичних домішок та поверхнево-активних речовин і приводить, в окремих випадках, навіть до покращання водовіддавальних властивостей осаду. Недоліками аеробної стабілізації є велика тривалість процесу і необхідність наступного знезаражування осаду. Згідно з чинним СНиП 2.04.03-85 [1], інтенсифікація аеробної стабілізації осадів може бути досягнута шляхом здійснення її при підвищених температурах: при збільшенні температури процесу на кожні 10 °С його тривалість зменшується у 2,0–2,2 рази. При цьому доцільно здійснювати процес стабілізації таким чином, щоб одночасно забезпечити і знезаражування осаду.

Як відомо, усі аеробні біохімічні процеси відбуваються із вивільненням енергії, частина якої використовується мікроорганізмами для здійснення своєї життєдіяльності, а інша — розсіюється у середовищі. При аеробній стабілізації досягається досить значний розпад беззольної речовини, що при її високій концентрації створює умови для саморозігрівання осаду. Такий процес отримав назву автотермофільної аеробної стабілізації [2].

### **АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ**

Процес автотермофільної аеробної стабілізації осадів широко використовується на практиці, починаючи із 80-х років минулого століття. Вже у 1999 році на комунальних очисних спорудах у ФРН експлуатувалася 31 установка для автотермофільної аеробної стабілізації осадів [3]. Нині розроблені і застосовуються так звані установки для автотермофільної аеробної стабілізації осадів другого покоління [4, 5, 6], які відрізняються передусім застосуванням струминних аераторів оригінальної конструкції, на які повітря подається повітродувками, а також впровадженням контролю за утворенням піни. Однак наведені у літературі матеріали носять здебільшого рекламний характер, що не дозволяє здійснити на їх основі розрахунок споруд для аеробної автотермофільної стабілізації осадів.

### **МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою дослідження є розробка методики аналізу процесу автотермофільної аеробної стабілізації осадів, яка б дозволила врахувати вплив основних чинників і здійснити розрахунок споруд для його практичної реалізації.

### **ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ**

Складемо рівняння теплового балансу процесу аеробної стабілізації:

$$Q \cdot \Delta T \cdot C_T \cdot K_3 = K_T \cdot B \cdot S_o \cdot Q,$$

звідки

$$B = \frac{\Delta T \cdot C_T \cdot K_3}{K_T \cdot S_o} \quad (1)$$

де  $Q$  — витрата осаду, м<sup>3</sup>/добу;  
 $\Delta T$  — температурний градієнт, °C;  
 $C_T$  — питома теплоємність осаду, МДж/кг;  
 $K_3$  — коефіцієнт, що враховує тепловтрати при здійсненні процесу, частка одиниці;  
 $K_T$  — вихід теплоти з 1 кг беззольної речовини осаду, що розпалася, МДж;  
 $B$  — ступінь розпаду беззольної речовини осаду, частка одиниці;  
 $S_o$  — концентрація беззольної речовини осаду, кг/м<sup>3</sup>.

З попередніх рівнянь виходить, що ступінь розпаду беззольної речовини  $B$ , необхідний для збільшення температури осаду в процесі стабілізації на певну величину  $\Delta T$ , зменшується із зростанням концентрації беззольної речовини  $S_o$  чи із зменшенням вологості осаду. Однак при цьому він повинен бути не меншим певної межі, яка складає 30–40 % [2].

Беззольну речовину осаду з концентрацією  $S_o$  можна умовно розділити на дві складові: беззольну речовину, яка піддається біохімічному розпаду  $S_{a_o}$  (активну) і беззольну речовину  $S_i$ , яка не піддається біохімічному розпаду (інертну). Через час  $t$  від початку процесу розпадеться тільки частина активної беззольної речовини  $a_t$ , а інша частина —  $S_{a_t}$ , все ще лишиться без змін (див. схему).

Розпад беззольної речовини осаду описується рівнянням першого порядку [7]

$$S_{a_t} = S_{a_o} \cdot e^{-kt},$$

де  $k$  — константа швидкості розпаду беззольної речовини осаду, доба<sup>-1</sup>.

$S_o$		
$S_{a_o}$		$S_i$
$a_t$	$S_{a_t}$	$S_i$

Відповідно до прийнятих позначень  $S_{a_t} = S_{a_o} - a_t$ , звідки  $S_{a_o} - a_t = S_{a_o} \cdot e^{-kt}$ .

Відношення  $A = S_{a_o} / S_o$  — визначає межу розпаду беззольної речовини, а відношення  $B = a_t / S_o$  — ступінь розпаду беззольної речовини осаду в момент часу  $t$ . Таким чином,

$$S_{a_o} = AS_o \text{ і } AS_o - a_t = AS_o \cdot e^{-kt}.$$

Розділивши ліву і праву частини попереднього рівняння на  $S_o$ , отримаємо  $A - \frac{a_t}{S_o} = A \cdot e^{-kt}$ , звідки виходить, що  $A - B = A \cdot e^{-kt}$  чи

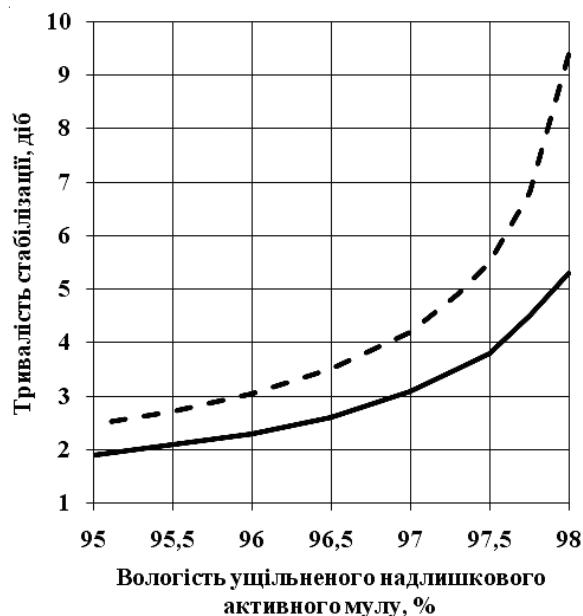
$$B = A(1 - e^{-kt}). \quad (2)$$

Для виконання розрахунків середню зимову температуру осаду приймали рівною 15 °C, межу розпаду беззольної речовини осаду первинних відстійників — 53 %, а беззольної речовини надлишкового активного мулу — 44 % [1], вихід теплоти — 35 МДж/кг беззольної речовини осаду, що розпалася [7]. Втрати теплоти при здійсненні процесу автотермофільної аеробної стабілізації приймалися рівними 30 і 50 %. Температуру процесу, при якій забезпечується знезаражування і дегельмінтизація осаду, прийняли рівною 60 °C ([1], п. 6.402). Значення константи швидкості розпаду беззольної речовини осаду при температурі процесу 60 °C прийняли рівною  $k = 0,28$  доба<sup>-1</sup> [7].

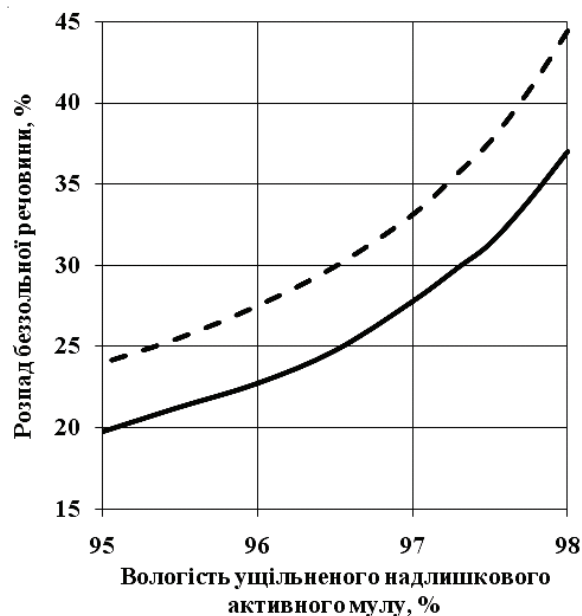
При наведених вище значеннях технологічних параметрів рівняння (1) і (2) являють собою систему рівнянь з трьома невідомими:  $B$ ,  $t$  і  $S_o$ . Для її розв'язання спочатку визначали  $S_o$ , для чого прийняли: концентрацію завислих речовин і БПК<sub>повн</sub> очищуваних стічних вод відповідно 280 і 240 мг/дм<sup>3</sup>; ефективність освітлення стічних вод у первинних відстійниках — 50 %, вологість осаду первинних відстійників — 95 %. Вологість ущільненого надлишкового мулу, яка власне і визначає вологість, а значить і концентрацію беззольної речовини суміші осадів, в розрахунках приймали рівною 98 % (мул, ущільнений у вертикальному мулозгущувачі), 97,3 % (мул, ущільнений у радіальному мулозгущувачі) і далі зменшували з кроком 0,5 % (мул, ущільнений у флотаційному мулозгущувачі). На

другому етапі за рівнянням (1) визначали тривалість процесу, необхідну для збільшення температури осаду на величину  $\Delta T = 45^\circ\text{C}$ , і далі, за рівнянням (2), — розпад беззольної речовини осаду. Розрахунки виконували в пакеті Microsoft Office Excel 2007.

На рис. 1 наведена залежність тривалості стабілізації, а на рис. 2 — розпаду беззольної речовини від вологості ущільненого надлишкового активного мулу. На обох рисунках суцільна лінія позначає відповідну залежність при втратах теплоти у процесі стабілізації, що складають 30 %, а пунктирна — при втратах теплоти 50 %.



**Рисунок 1** — Залежність тривалості аеробної стабілізації від вологості ущільненого надлишкового активного мулу.



**Рисунок 2** — Залежність ступеня розпаду беззольної речовини осаду від вологості ущільненого надлишкового активного мулу.

Як показують отримані результати, вологість ущільненого надлишкового активного мулу визначає тривалість процесу стабілізації і розпад беззольної речовини суміші осадів. При зменшенні вологості ущільненого активного мулу від 98 до 95 % тривалість процесу зменшується від 5,3 до 1,9 доби, а ступінь розпаду беззольної речовини — від 37 до 20 %. Скорочення тепловтрат з відкритої поверхні аеробних стабілізаторів і при аерації осаду дозволяє при застосуванні вертикальних і радіальних мулозгущувачів зменшити тривалість процесу з 8–12 діб ([1], п. 6.365) до 3,5–5,3 доби. Розпад беззольної речовини при цьому знаходиться в межах, рекомендованих для стабілізації суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу, яка, як вказувалося раніше, становить 30–40 %.

Зменшення вологості надлишкового активного мулу до 95 % приводить до скорочення тривалості процесу до 1,9 доби, однак ступінь розпаду беззольної речовини осаду при цьому буде недостатнім (менше 30 %). Збільшення ступеня розпаду беззольної речовини при цьому може бути досягнуте двома шляхами: збільшенням тривалості стабілізації, що ставить під сумнів необхідність ущільнення осаду до вологості менше 97,3 %, або наступним анаеробним зброджуванням осаду. Очевидно, що другий шлях є більш доцільним, так як у цьому випадку анаеробне зброджування буде здійснюватись без підігрівання осаду за рахунок накопиченого тепла і отримуватиметься біогаз.

За даними різних авторів, при здійсненні автотермофільної аеробної стабілізації певну проблему складає забезпечення процесу киснем через зменшення його розчинності при високих температурах. Вважається, що при цьому необхідно застосовувати механічну, пневмомеханічну чи струминну аерацію, використовувати чистий кисень. Однак загальна кількість кисню при здійсненні автотермофільної стабілізації осаду буде усе ж меншою, ніж при здійсненні процесу при звичайних температурах, за рахунок припинення нітрифікації в результаті загибелі нітрифікуючих бактерій. Автотермофільну аеробну стабілізацію слід здійснювати у закритих ємностях з хорошою теплоізоляцією.

## ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ У ДАНОМУ НАПРЯМКУ

Розроблена методика дозволила встановити вплив вологості ущільненого надлишкового активного мулу на ступінь розпаду беззольної речовини осадів і тривалість їх автотермофільної аеробної стабілізації і дає можливість здійснити розрахунок споруд для практичної реалізації цього процесу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст] : СНиП 2.04.03-85. — Взамен СНиП II-32-74 ; введ. 1986-01-01. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 72 с.
2. Ковальчук, В. А. Очистка стічних вод [Текст] : Навчальний посібник для студентів вузів / В. А. Ковальчук. — Рівне : Рівненська друкарня, 2002. — 622 с.
3. Environmental Regulations and Technology: Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion of Municipal Wastewater Sludge [Текст] : EPA/625/10-90/007. — Washington : National Center for Environmental Economic, 1990. — 76 p.
4. Scisson, James P. ATAD, the Next Generation: Design, Construction, Start-Up and Operation of the First Municipal 2nd Generation ATAD [Текст] / J. P. Scisson // WEF Biosolids Conference, San Diego, CA, 2003 / Water Environment Federation. — Alexandria VA, USA : Water Environment Federation, 2003. — P. 205–222.
5. 2nd Generation Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion: Conceptual Issues and Process Advancements [Текст] / K. L. Staton, J. E. Alleman, R. L. Pressley, J. Eloff // WEF Biosolids Conference, San Diego, CA, 2001 / Water Environment Federation. — Alexandria VA, USA : Water Environment Federation, 2001. — P. 349–359.
6. Turovskiy, I. S. Wastewater sludge processing [Текст] / Izrail S. Turovskiy, P. K. Mathai. — New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2006. — 363 p.
7. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод [Текст] / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина. — М. : Стройиздат, 1980. — 200 с.

Отримано 02.03.2012

**В. А. КОВАЛЬЧУК**

**АВТОТЕРМОФИЛЬНАЯ АЭРОБНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования

Предложена методика анализа процесса автотермофильной аэробной стабилизации смеси сырого осадка первичных отстойников и избыточного активного ила с учетом необходимой степени распада её беззольного вещества и способа предварительного уплотнения избыточного активного ила.

**аэробная стабилизация, автотермофильный процесс, распад беззольного вещества**

**VICTOR KOVALCHUK**

**AUTOTHERMAL THERMOPHILIC AEROBIC STABILIZATION OF WASTEWATER SLUDGE**

National University of Water Management and Nature Resources Use

Analysis procedure of process of autothermophilic aerobic stabilization of primary sludge mixture of decanting tank and surplus sludge with the necessary degree of reduction of its ash-free basis and method of presealing of surplus sludge has been proposed.

**aerobic stabilization, autothermophilic process, resolution of ash-free basis**

**Ковальчук Віктор Анатолійович** — доктор технічних наук, доцент; професор кафедри водовідведення, теплогазопостачання та вентиляції Національного університету водного господарства та природокористування. Наукові інтереси: очистка стічних вод підприємств харчової промисловості. Аеробна та анаеробна стабілізація осадів стічних вод.

**Ковальчук Виктор Анатольевич** — доктор технических наук, доцент; профессор кафедры водоотведения, теплогазоснабжения и вентиляции Национального университета водного хозяйства и природопользования. Научные интересы: очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. Аэробная и анаэробная стабилизация осадков сточных вод.

**Victor Kovalchuk** — DSc (Eng.), associate professor, Water Disposal, Heat, Gas Supply and Ventilation Department, National University of Water Management and Nature Resources Use. Scientific interests: food industry wastewater treatment. Aerobic and anaerobic stabilization of wastewater sludge.

УДК 696.2:622.691.4

Ю. А. ГОЛОВАЧ, В. И. ЗАХАРОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ

Выполнены расчет показателей надежности тупиковой газовой сети для различных расчетных периодов времени и сравнение их с нормативными. Проанализировано влияние расчетного периода времени на значение показателя надежности и вероятности безотказной работы.

**газовая сеть, показатель надежности, вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, расчетный период времени**

С каждым годом становится все очевиднее возрастающая роль транспортирования природного газа для развития промышленности и энергообеспечения Украины. По мере изменения технических и экономических условий развития газового хозяйства требуется решать все более сложные задачи по обеспечению безопасности и надежности газораспределительных систем.

Для предотвращения перебоев в газоснабжении распределительные системы должны быть спроектированы при удовлетворении заданного уровня надежности, а их эксплуатация должна быть организована таким образом, чтобы профилактические ремонты и своевременная замена оборудования позволяли выдерживать принятый уровень надежности в течение всего срока службы системы.

При проектировании газовых сетей определяются показатели надежности, которые сравниваются с нормативными. Следует отметить, что в литературе, которая является основной при проектировании систем газоснабжения [1, 2], отсутствуют нормативные показатели надежности. Как было показано в работах [3, 4], на значение показателя надежности системы или вероятности ее безотказной работы влияют параметр потока отказов, зависящий от диаметра газопровода, количество и расстановка задвижек, а также продолжительность расчетного периода времени. Поэтому интерес представляет рассмотреть, как производится расчет показателей надежности газовых сетей в технической литературе.

Целью данной статьи является определение основных показателей надежности газовой сети и сравнение их с показателями, принимаемыми за нормативные.

В отличие от систем теплоснабжения, для которых согласно [5] приведены нормативные минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы, для систем газоснабжения нормативные значения показателей надежности отсутствуют. Согласно [6], чтобы определить, является ли надежность системы достаточной, ее значение следует сравнить с уровнем, который принимается в качестве нормативного и составляет для сетей высокого и среднего давления в больших и средних городах 0,999, в малых городах и поселках — 0,95...0,99, для сетей низкого давления — 0,90...0,99. При этом не указано, для какого периода времени определены эти показатели.

А. А. Ионин предлагает определение показателя надежности сети, принимаемого за нормативный, с которым впоследствии сравнивается показатель надежности рассчитываемой системы и на основании чего решается вопрос о резервировании, без уточнения диаметров в зависимости от численности населения города. Так, при численности населения менее 100 тыс. чел. Рекомендованный в качестве нормативного показатель надежности составляет 0,95, 100–500 тыс. чел. — 0,97, 500–1000 тыс. чел. — 0,98 и более 1 млн человек — 0,99. При этом расчетный период времени принимается равным 10 лет. Основания для выбора данного периода времени в [7] отсутствуют.

Согласно [1] техническое обследование подземных стальных газопроводов должно проводиться при продолжительности эксплуатации до 25 лет не реже 1 раза в 5 лет, при эксплуатации свыше



25 лет и до истечения амортизационного срока эксплуатации не реже 1 раза в 3 года, то есть расчетный период времени сокращается до 3–5 лет.

Рассмотрим зависимости показателя надежности и вероятности безотказной работы сети от расчетного периода времени для тупиковой разветвленной газовой сети, представленной на рисунке 1 и рассмотренной в [4].

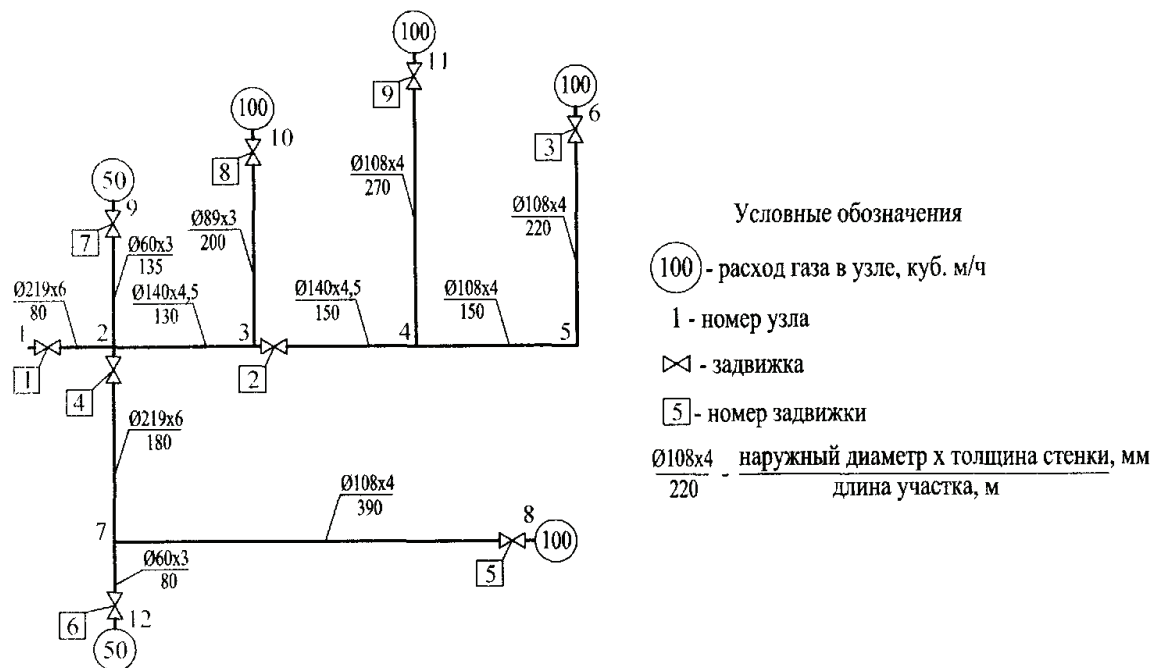


Рисунок 1 — Тупиковая разветвленная газовая сеть.

Расчет показателя надежности согласно [7] производился по уравнению

$$R(t) = 1 - \sum_{j=1}^{j=l} \frac{\Delta Q_j \cdot \omega_i}{Q_o \sum \omega_i} (1 - e^{-\sum \omega_i \cdot T}), \quad (1)$$

где  $\Delta Q_j$  — нагрузка входного участка в  $j$ -й зоне, м³/ч;  
 $Q_o$  — общая газовая нагрузка сети, м³/ч;  
 $\omega_i$  — параметр потока отказов  $i$ -го элемента (газопровода, задвижки), (1/год);  
 $T$  — расчетный период времени, лет.

Вероятность безотказной работы рассчитывалась с учетом требований [8] по уравнению

$$P(t) = e^{-\sum \omega_i \cdot T}, \quad (2)$$

где  $\omega_i$  — параметр потока отказов  $i$ -го элемента (газопровода, задвижки), (1/год);  
 $T$  — расчетный период времени, лет.

Расчет показателя надежности и вероятности безотказной работы сети производился для трех случаев:

1. При параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода, по уравнению (3) [3]

$$\lambda = 0,0031 \cdot e^{988,28/D_{cp}} / 10^6, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — удельная интенсивность отказов, 1/(м год);  
 $D_{cp}$  — средний диаметр газопровода, мм.

2. При параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от комплексной величины  $\chi$ , по уравнению (4) [3]

$$\lambda = 1,09 \cdot e^{1456,41/x} / 10^6, \quad (4)$$

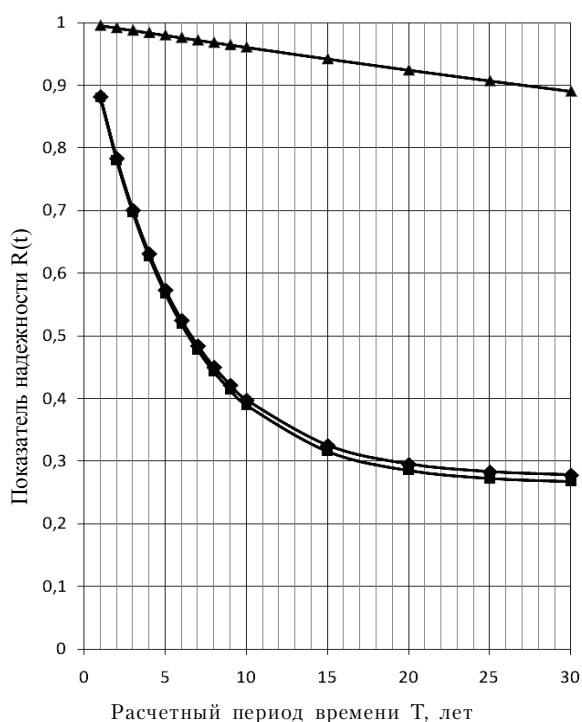
где  $\chi$  — произведение среднего диаметра на толщину стенки газопровода, мм<sup>2</sup>.

3. При постоянном значении удельного параметра потока отказов газопроводов, равном  $2 \cdot 10^{-3}$  1/(км · год) [7].

Параметр потока отказов задвижек для всех трех случаев принимался равным  $0,3 \cdot 10^{-3}$  1/год [7].

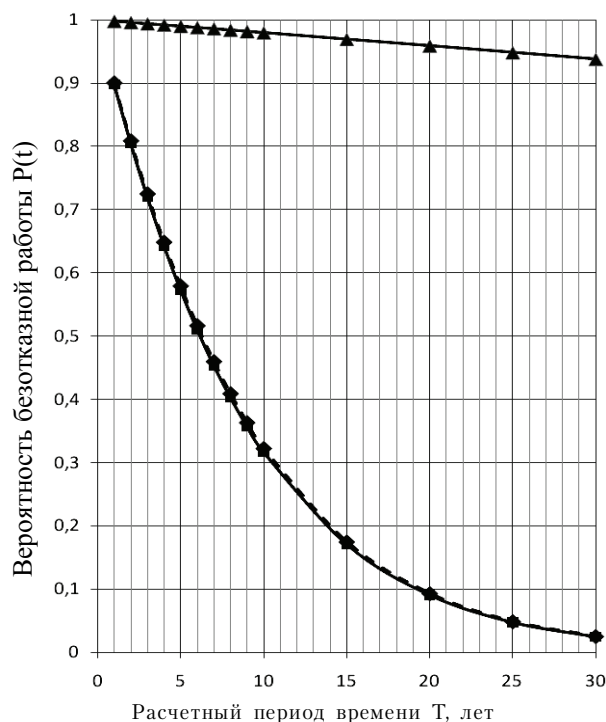
Вычисление показателя надежности и вероятности безотказной работы производилось с учетом изменения расчетного периода времени от 1 до 30 лет, результаты расчетов приведены в таблице.

Зависимости показателя надежности и вероятности безотказной работы сети от расчетного периода времени при параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода, при параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости интенсивности отказов от комплексной величины  $\chi$  и при постоянном значении параметра потока отказов газопроводов, представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.



**Рисунок 2** — Зависимость показателя надежности сети  $R(t)$  от расчетного периода времени:

— ромб — показатель надежности  $R(t)$  при параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода; — квадрат — показатель надежности  $R(t)$  при параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от комплексной величины  $\chi$ ; — треугольник — показатель надежности  $R(t)$  при постоянном параметре потока отказов газопроводов.



**Рисунок 3** — Зависимость вероятности безотказной работы  $P(t)$  от расчетного периода времени:

— ромб — вероятности безотказной работы  $P(t)$  при параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода; — квадрат — вероятности безотказной работы  $P(t)$  при параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от комплексной величины  $\chi$ ; — треугольник — вероятности безотказной работы  $P(t)$  при постоянном параметре потока отказов газопроводов.

На графике, представленном на рисунке 2, при зависимости параметра потока отказов от среднего диаметра и комплексной величины  $\chi$  прослеживается резкое падение значения показателя надежности сети при увеличении расчетного периода времени. Причем до 10 лет эксплуатации сети прослеживается падение показателя надежности примерно в 1,1 раза за каждый последующий год,

**Таблица 1** — Значения показателя надежности и вероятности безотказной работы сети в зависимости от параметра потока отказов газопроводов и расчетного периода времени

Зависимость параметра потока отказов от диаметра газопровода	Расчетная методика	Значения показателя надежности $R(t)$ и вероятности безотказной работы $P(t)$ за расчетный период времени $T$ , лет									
		1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
При параметре потока отказов газопроводов, определяемом с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода по уравнению (3)	Показатель надежности, определяемый по [7]	0,8822	0,7835	0,7008	0,6315	0,5735	0,3976	0,3251	0,2952	0,2829	0,2778
	Вероятность безотказной работы, определяемая по [8]	0,9003	0,8087	0,7250	0,6487	0,5794	0,3227	0,1752	0,0934	0,0492	0,0257
	Показатель надежности, определяемый по [7]	0,8806	0,7806	0,6968	0,6266	0,5678	0,3892	0,3155	0,2850	0,2724	0,2673
	Вероятность безотказной работы, определяемая по [8]	0,8979	0,8045	0,7196	0,6424	0,5727	0,3164	0,1707	0,0906	0,0475	0,0247
При постоянном значении удельного параметра потока отказов, приведенном в [7]	Показатель надежности, определяемый по [7]	0,996	0,992	0,988	0,9841	0,9802	0,961	0,9424	0,9245	0,9072	0,8904
	Вероятность безотказной работы, определяемая по [8]	0,998	0,996	0,994	0,992	0,99	0,9798	0,9694	0,959	0,9484	0,9377

после 10 лет эксплуатации показатель надежности изменяется менее значительно и после 25 лет остается практически постоянным. При расчетном периоде времени 5 лет показатель надежности снижается до значения примерно 0,57, при расчетном периоде времени 10 лет — до 0,4. При постоянном параметре потока отказов газопроводов наблюдается менее резкое падение значений показателя надежности с течением времени по сравнению со значениями показателя надежности при параметре потока отказов, зависящем от диаметра газопровода. На графике прослеживается равномерное падение показателя надежности с течением времени. Так, при расчетном периоде времени 5 лет показатель надежности составляет примерно 0,98, 10 лет — 0,96, 20 лет — 0,92 и 30 лет — 0,9.

На графике, представленном на рисунке 3, при зависимости параметра потока отказов от среднего диаметра и комплексной величины  $\chi$  также наблюдается резкое падение вероятности безотказной работы сети с увеличением расчетного периода времени. При расчетном периоде времени 10 лет прослеживается падение вероятности безотказной работы примерно в 1,1 раза за каждый последующий год и составляет примерно 0,57 к 5 годам и 0,32 к 10 годам. При постоянном параметре потока отказов газопроводов наблюдается менее резкое падение значений вероятности безотказной работы с течением времени по сравнению со значениями, рассчитанными при параметре потока отказов, зависящем от диаметра. При расчетном периоде времени 5 лет вероятность безотказной работы сети составляет примерно 0,99, 10 лет — 0,98, 20 лет — 0,96 и 30 лет — 0,94.

В результате сравнения рассчитанных показателей надежности с рекомендованными в технической литературе в качестве нормативных возможны два случая: когда рассчитанный показатель больше рекомендованного и когда рассчитанный показатель меньше рекомендованного. В первом случае надежность сети обеспечена, во втором случае следует разрабатывать мероприятия для повышения надежности, такие как использование более надежных элементов или организация мероприятий, повышающих их надежность, введение в схему избыточных элементов для организации резервов, увеличение диаметров некоторых участков против их расчетных значений, главным образом за счет отказа от газопроводов диаметров 80 мм и менее с надежностью на порядок меньше, чем у газопроводов диаметром более 80 мм [6].

Для рассмотренной газовой сети (рис. 1) только при постоянном параметре потока отказов выполняется условие, когда рассчитанное значение показателя надежности для заданного периода времени (10 лет) больше требуемого ( $0,961 > 0,900$ ).

## ВЫВОДЫ

Из приведенных расчетов и анализа графиков следует:

1. На значения показателя надежности и вероятности безотказной работы существенно влияет выбор расчетного периода времени.
  2. В качестве расчетного периода времени для расчета показателей надежности рекомендуется принимать 5 лет как период, по истечению которого является обязательным проведение комплексного приборного обследования газопроводов согласно правилам [1].
  3. При проектировании газовых сетей показатели надежности, приведенные в [7], могут быть рекомендованы для начальной стадии проектирования и должны уточняться в дальнейшем.
- Следует отметить, что поскольку параметр потока отказов зависит от диаметра газопроводов, а выбор диаметра определяется нагрузкой участков, то нормативные показатели надежности следовало бы определять в зависимости от расходов участков сети. Работа будет продолжена в направлении обоснования значений показателей надежности, рекомендованных в качестве нормативных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности систем газоснабжения Украины [Текст] : ДНАОП 0.00-1.20-98. — К. : Госназдорхрантруда Украины, 1998. — 73 с. — (Государственный нормативный акт об охране труда).
2. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Внешние сети и сооружения. Газоснабжение [Текст] : ДБН В.2.5-20-2001. — Взамен СНиП 2.04.08-87, СНиП 3.05.02-88 ; введ. 2001-08-01. — К. : Госстрой Украины, 2001. — 287 с. — (Национальный стандарт Украины).
3. Головач, Ю. А. Анализ зависимости параметра потока отказов от диаметра газопроводов [Текст] / Ю. А. Головач, В. И. Захаров // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, ДонНАБА. — Макіївка, 2010. — Вип. 2010-6(86) : Інженерні системи та техногенна безпека. — С. 117–122.
4. Головач, Ю. А. Определение показателей надежности работы распределительных газопроводов [Текст] / Ю. А. Головач, В. И. Захаров // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / Міністер-

- ство освіти і науки, молоді та спорту України, ДонНАБА. — Макіївка, 2011. — Вип. 2011-5(91) : Інженерні системи та техногенна безпека. — С. 43–49.
5. Державні будівельні норми. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі [Текст] : ДБН В.2.5-39:2008. — На зміну СНиП 2.04.07-86 ; чинні з 2009-01-07. — К. : Мінрегіонбуд України, 2009. — 57 с.
  6. Варфоломеев, В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения [Текст] / В. А. Варфоломеев, Я. М. Торчинский, Р. Н. Шевченко. — К. : Будивельник, 1988. — 238 с.
  7. Ионин, А. А. Газоснабжение [Текст] : [учебник для высш. учеб. завед.] / А. А. Ионин. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1989. — 439 с.
  8. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги [Текст] : ДСТУ 2862-94. — Введ. с 1997-01-01. — К. : Держстандарт України, 1994. — 39 с. — (Національний стандарт України).

Получено 02.03.2012

**Ю. О. ГОЛОВАЧ, В. І. ЗАХАРОВ**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПРИ ПРОЕКТУ-**  
**ВАННІ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано розрахунок показників надійності тупикової газової мережі для різних розрахункових періодів часу і порівняння їх з нормативними. Проаналізовано вплив розрахункового періоду часу на значення показника надійності та імовірності безвідмовної роботи. газова мережа, показник надійності, імовірність безвідмовної роботи, параметр потоку відмов, розрахунковий період часу.

**газова мережа, показник надійності, імовірність безвідмовної роботи, параметр потоку відмов, розрахунковий період часу**

**YULIA GOLOVACH, VICTOR ZAKHAROV**  
**DETERMINATION OF BASIC RELIABILITY INDEXES AT DESIGNING OF GAS-**  
**DISTRIBUTING SYSTEMS**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The calculation of reliability indexes of the dead-end gas-distributing system for different settlement time spans and the comparison of calculated and normative reliability indexes have been made. The analysis of influence of settlement time span to the value of reliability index (probability of non-failure operation) has been made.

**gas-distributing system, reliability index, probability of non-failure operation, failure flow parameter, settlement time span**

**Головач Юлія Олександрівна** — аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність розподільних систем газопостачання.

**Захаров Віктор Іванович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції 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 теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность распределительных сетей газоснабжения.

**Захаров Виктор Иванович** — кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

**Yulia Golovach** — post-graduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: natural gas network reliability.

**Victor Zakharov** — PhD (Eng.), associate professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: distribution of natural gas in conditions of gas deficiency, on-line control of gas supply systems, rational use of gas fuel.

УДК 696.29

**Т. Н. ЗАВАДА, В. И. ЗАХАРОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ГОРОДСКИХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

Выполнен анализ существующих моделей прогнозирования расхода природного газа, которые используются при оперативном управлении технологическими процессами городских систем газоснабжения. С целью повышения точности прогнозирования предложено учитывать инерционность системы при распределении газа.

**оперативное управление, городские системы газоснабжения, математическая модель, прогнозирование**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

В процессе распределения природного газа необходимо добиться соответствия поставок и потребления газа. И эта задача решается при оперативном управлении технологическими процессами городских систем газоснабжения.

Распределительные системы газоснабжения городов с численностью населения свыше 100 тысяч человек должны содержать в своем составе автоматизированные системы управления технологическими процессами распределения газа, но на практике регулирование чаще всего производится только один раз (в начале отопительного периода).

Процесс создания математической модели оперативного управления технологическими процессами городских систем газоснабжения объединяет в себе решение двух задач: оперативное (краткосрочное и сверхкраткосрочное) прогнозирование и оперативное управление технологическими процессами на основе результатов, полученных при прогнозировании. А решение этих задач является основой для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами распределения газа.

В данной работе анализируются модели, которые решают первую задачу. Прогнозирование объемов и режимов потребления газа занимает важное место в комплексе проблемы управления, т. к. газовые хозяйства постоянно сталкиваются с необходимостью прогнозировать суточные расходы газа для разработки на этой основе диспетчерских графиков работы системы газоснабжения, предложений для принятия оперативных решений на базе упреждающих воздействий.

В связи со стохастическим характером потребления (всех категорий потребителей), при резких сменах температуры наружного воздуха, система городских газопроводов (СГГ) не в состоянии своевременно отреагировать, что приводит к сбоям. Основная причина — регулирование производят стихийно сами потребители, в результате чего игнорируются другие потребители и происходят недопоставки необходимого объема газа. В такой ситуации прогнозирование расхода природного газа усложнено.

Единственным правильным решением этой актуальной проблемы — создание математической модели, которая бы полностью описывала все процессы, происходящие в СГГ.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Вопросы оперативного управления городскими системами газоснабжения и, в частности, прогнозирования газопотребления рассмотрены в работах Ляукониса А. Ю., Алдалиса Х., Петренко В. Р.,

Хандога Т. П., Меняйло В. А. и др. Но остается еще ряд нерешенных вопросов, таких как учет инерционности системы, а также не определена целесообразность использования скорости ветра как фактора влияющего на точность прогноза.

**Цель данной статьи** — проанализировать существующие модели, выявить их достоинства и недостатки, определить факторы, которые наибольшим образом влияют на прогнозирование потребления газа.

Для оперативного управления городскими газораспределительными системами используются результаты сверхкраткосрочного и краткосрочного прогнозирования.

Потребление газа в различные часы суток, а также в различные дни недели различно. Это позволяет говорить о внутрисуточной и внутринедельной неравномерности газопотребления. Эти неравномерности должны быть уточнены при создании моделей прогнозирования в различное время года. Вместе с тем возникает задача выявления и других факторов, влияющих на характер газопотребления.

Для оперативного управления поставками газа необходимо знать наперед ежедневное потребление газа. Потребление газа на коммунально-бытовые нужды ввиду большой доли в нем потребления его на отопление характеризуется ещё и большой сезонной неравномерностью. Поэтому, получив аналитическую зависимость между ежедневным потреблением газа от погодных условий, можно объяснить и оценить несоответствие между поступлением газа и его реализацией.

Все основные факторы, влияющие на характер потребления, можно разделить на три группы: хронологические, метеорологические и организационные. В качестве таких факторов могут рассматриваться: среднесуточная температура, минимальная и максимальная температура за сутки, скорость ветра.

Существует два метода получения зависимости расхода от температуры: по среднемесячной температуре и среднесуточной.

В работе [1] произведена оценка возможности прогнозирования месячного объема потребления газа в бытовом секторе в зависимости от прогнозных среднемесячных значений среднемесячной температуры воздуха и среднемесячной скорости ветра для г. Кременчуг. В результате корреляционного анализа в работе сделан вывод, что между расходом и температурой присутствует линейная зависимость, а между расходом газа и скоростью ветра ее нет.

В итоге, авторами [1] была разработана комбинированная статистическая модель, включающая регрессионную модель зависимости объема потребления газа от среднемесячной температуры воздуха и модель авторегрессии первого порядка для остатков, которая имеет вид

$$R(t) = 16914,9 = 809,7 \cdot T(t) + 8,2 \cdot T^2(t) + 0,57 \cdot u \cdot (t - 1) + a(t);$$

$$u(t) = R(t) - \hat{R}(t|t - 1).$$
(1)

Петренко В. Р. и Шульга М. Ю. в своей работе утверждают, что «использование для моделирования потребления газа суточной температуры не целесообразно из-за того, что с увеличением горизонта прогнозирования, увеличивается и ошибка прогноза». Это утверждение считается авторами данной статьи спорным, т. к. в нашем регионе слишком большая амплитуда колебаний температуры не только за месяц, но и за сутки (особенно в осенне-зимний период) и усреднение в данной ситуации совершенно неуместно. Среднемесячные температуры возможно брать для моделирования процессов в период с апреля по сентябрь. В данной работе доказано отсутствие зависимости расхода газа от скорости ветра, что в принципе верно для данного города.

В работе [2] исходными для расчетов являются отчетные данные о месячных расходах газа на коммунально-бытовые нужды, а также данные о среднесуточной температуре за месяц, ввиду отсутствия у части населения и мелких потребителей приборов учета газа.

Автором получено прогнозирующее уравнение на последующий отопительный период:

$$Q_{np} = K_H \cdot Q_n + K_{om} \cdot q \cdot (18 - t),$$
(2)

где  $K_H, K_{om}$  — коэффициенты прогнозного годового роста расходов газа, не зависящего от температуры наружного воздуха и зависящего от нее (отопительного) соответственно;  
 $t$  — температура наружного воздуха;  
 $q$  — прирост расхода газа на отопление при понижении температуры наружного воздуха на 1 °С.

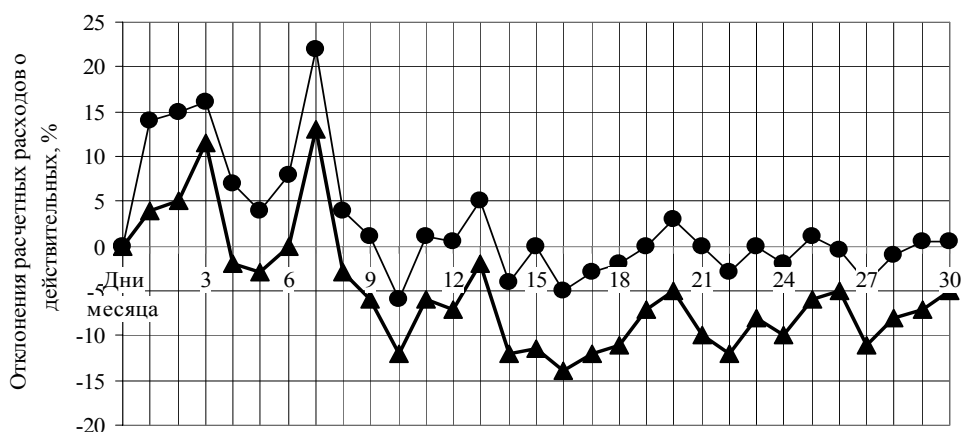


Простота методики и незначительный объем элементарных вычислений при ее применении делают ее доступной для широкого круга газоснабжающих организаций, но неточность в учете расхода природного газа не позволяет ее использования с минимальными погрешностями для сверхкраткосрочного прогнозирования.

В работе [3] в качестве фактора, сильно влияющего на режим потребления газа, указывается среднесуточная температура наружного воздуха. При этом общую закономерность режима газопотребления в зависимости от температуры наружного воздуха можно принять прямолинейной. Также отмечается, что, кроме среднесуточной температуры наружного воздуха, существует еще один фактор, имеющий значительное влияние на режим газопотребления. Это — скорость ветра.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры [3] на основе данных о суточных расходах газа на коммунально-бытовое потребление, среднесуточных температур наружного воздуха и скорости ветра были получены зависимости расхода газа как от одного фактора — температура наружного воздуха по уравнению  $Q = f(t)$ , так и от двух факторов — температуры наружного воздуха и скорости ветра по уравнению  $Q = f(t, v)$  для городов Донецкой области.

На рис. 1 приведено сравнение прогнозных значений суточных расходов газа для г. Мариуполь, рассчитанных по уравнению  $Q = f(t)$  — линия 1 и по уравнению  $Q = f(t, v)$  — линия 2, с фактическими расходами газа.



**Рисунок 1** — Сравнение прогнозных значений суточных расходов газа для г. Мариуполь с фактическими за январь:  $\blacktriangle$  — отклонение расходов газа, рассчитанных по уравнению  $Q = f(t)$ ;  $\bullet$  — отклонение расходов газа, рассчитанных по уравнению  $Q = f(t, v)$ .

Как видно из рис. 1, лучше совпадают с фактическими расходами газа значения, определенные по уравнению  $Q = f(t, v)$ . Это также подтверждается тем, что сумма суточных расходов отличается от действительных на 1,2 %, а по формуле  $Q = f(t)$  — на 7,9 %. Для остальных же городов значения, определенные по этим двум уравнениям, разнятся незначительно.

При этом укрупненная детерминированная модель прогнозирования газопотребления коммунально-бытовым сектором имеет вид:

$$Q_{сут} = K \cdot [Q_0 + \alpha \cdot (t_e - t_i)], \quad (3)$$

где  $Q_{сут}$  — суточный расход газа в прогнозируемом периоде;  
 $Q_0$  — суточный расход газа, который не зависит от температуры наружного воздуха;  
 $\alpha$  — коэффициент, учитывающий удельный расход газа за сутки при изменении температуры воздуха на 1 °C;  
 $t_e$  — температура внутреннего воздуха в помещениях, °C;  
 $K$  — коэффициент, учитывающий прирост газопотребления в прогнозируемом периоде.

Следовательно, для городов, которые расположены в районах, где не бывает сильных длительных ветров, основным метеорологическим фактором является средняя наружная температура воздуха.

Главным недостатком всех существующих моделей является то, что в них не учитывается инерционность системы в периоды резкого повышения или поднятия температуры.

О необходимости введения коэффициента инерционности в модель прогнозирования указывается в [4], но в настоящее время нет пока разработанных нормативных показателей зависимости между фактическими данными о суточном и месячном газопотреблении и температурой наружного воздуха.

Коэффициент инерционности ( $C_y$ ) авторами [3] предлагается представить как функцию от температуры наружного воздуха. При этом необходимо иметь следующие сведения: среднесуточные температуры наружного воздуха в период прогнозирования —  $t_p$ ; за сутки, предшествующие периоду прогнозирования —  $t_{-1}$ ; за двое суток до прогнозирования —  $t_{-2}$ , а также о расходе газа на коммунально-бытовое потребление за сутки, предшествующие периоду прогнозирования —  $V$ .

При этом параметр  $C_y$  может быть определен по одной из следующих формул:

1) если  $t_{-2} > t_{-1}$ , то

$$C_y = \frac{t_B - t_{-1}}{t_B - t_i} \quad (4)$$

2) если  $t_{-2} < t_{-1}$ , то

$$C_y = \frac{2 + \frac{t_B - t_{-1}}{t_B - t_i}}{3}. \quad (5)$$

На параметр  $C_y$  введены следующие ограничения:

а) он должен находиться в пределах

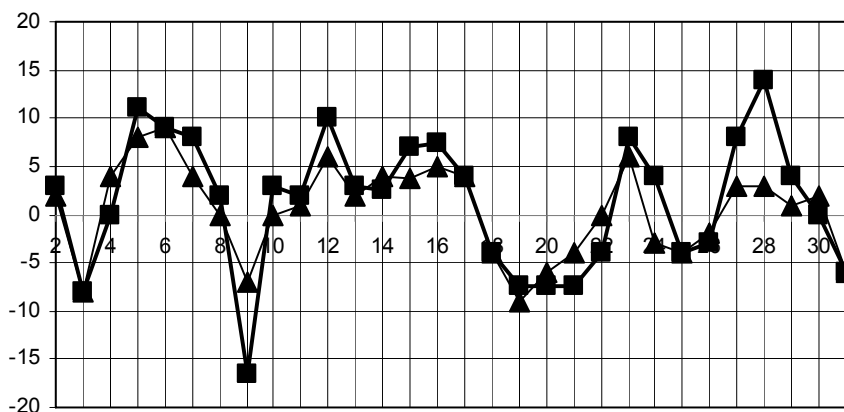
$$0,8 \leq C_y \leq 1,2;$$

б) если  $t_{-1} > t_p$ , то  $Q_{\text{сут}} \geq V$ , т. е. расход газа за сутки прогнозирования не может быть меньше, чем за предыдущие сутки.

Тогда предложенная модель будет иметь вид:

$$Q_{\text{сут}} = K \cdot [Q_o + \alpha \cdot C_y \cdot (t_s - t_i)]. \quad (6)$$

По уравнениям 3 и 6 были рассчитаны и сравнены фактические и прогнозируемые суточные расходы для г. Донецка. На рис. 2 приведено сравнение отклонений прогнозных расходов от фактических. В работе [3] аналитически и практически было доказано, что учитывая коэффициент инерционности системы газоснабжения, повышается точность прогноза.



**Рисунок 2** — Сравнение отклонения прогнозных расходов за январь от фактических для г. Донецка:  
 —■— отклонения расходов газа, определенных по уравнению 3; —▲— отклонения расходов газа, определенных по уравнению 6.

Необходимо отметить, что в данной работе изменение значения  $C_y$  ограничено только по  $t$ , но теоретически коэффициент инерционности должен иметь связь с пропускной способностью и гидравлическим сопротивлением.

## ВЫВОДЫ

Анализ работ показал, что для прогнозирования расхода газа используются расход газа и метеорологические факторы, но в идеальной модели оперативного управления должны быть учтены все факторы, влияющие на газопотребление.

Для оперативного управления весомым фактором является учет такого метеорологического фактора, как скорость ветра, но только для тех городов, в которых бывают длительные и сильные ветры.

Анализ показал, что при моделировании не учитывается инерционность системы, а коэффициент инерционности повышает точность прогноза в периоды резких изменений метеорологических факторов.

Основным направлением в дальнейших работах является разработка модели, которая будет учитывать коэффициент инерции в зависимости от пропускной способности сетей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренко, В. Р. Прогнозирование месячных объемов потребления газа в бытовом секторе [Текст] / В. Р. Петренко, М. Ю. Шульга // Нові технології : Науковий вісник Кременчуцького ун-ту економіки, інформаційних технологій і управління — Кременчук : Вид-во КВЭИТУ, 2008. — № 4. — С. 35–40. — ISSN 1810-3049.
2. Хандога, Т. П. Прогнозирование потребления газа на коммунально-бытовые нужды в зависимости от температуры наружного воздуха [Текст] / Т. П. Хандога // Реферативный сб. «Газовая промышленность». Серия: Использование газа в народном хозяйстве. — М. : ВНИИЭгазпром, 1981. — № 12. — С. 1–10.
3. Захаров, В. И. Прогнозирование расходов газа на коммунально-бытовое потребление [Текст] : наук. видання / В. И. Захаров, В. Ф. Губарь. — Макеевка, 1984. — 10 с. — Деп. в МИСИ 12.03.84, № 5224.
4. Ляуконис, А. Ю. Оперативное прогнозирование городского газоснабжения в вероятностно-неопределенных условиях [Текст] : наук. видання / А. Ю. Ляуконис, З. И. Моркунас // Реферативный сб. «Газовая промышленность». Серия: Использование газа в народном хозяйстве. — М. : ВНИИЭгазпром, 1982. — № 2. — С. 40.
5. Ляуконис, А. Ю. Оптимизация городского газоснабжения [Текст] / А. Ю. Ляуконис. — Ленинград : Недра, 1989. — 303 с. — ISBN 5-247-00767-0.

Получено 05.03.2012

### Т. М. ЗАВАДА, В. І. ЗАХАРОВ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ МІСЬКИХ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано аналіз існуючих моделей прогнозування витрати природного газу, які використовуються при операційному управлінні технологічними процесами міських систем газопостачання. Для того, щоб підвищити точність прогнозування, запропоновано враховувати інерційність системи при розподілі газу.

**оперативне управління, міські системи газопостачання, математична модель, прогнозування**

### TATYANA ZAVADA, VICTOR ZAKHAROV THE ANALYSIS OF EXISTING MATHEMATICAL MODELS OPERATIVE MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CITY SYSTEMS OF GAS SUPPLY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

It has been analysed that existing models of forecasting of expense of natural gas which are used at operative managements of technological processes of city systems of gas supply. With objective of increase of accuracy of forecasting it has been offered to consider inertia of systems at distribution of gas.

**operative management, city systems of gas supply, mathematical model, forecasting**

**Завада Тетяна Миколаївна** — аспірант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оперативне керування системами газопостачання.

**Захаров Віктор Іванович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розподіл природного газу в умовах дефіциту газу; оперативне керування системами газопостачання; раціональне використання газоподібного палива.

**Завада Татьяна Николаевна** — аспирант кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оперативное управление системами газоснабжения

**Захаров Виктор Иванович** — кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

**Tatyana Zavada** — postgraduate student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: on-line control of gas supply systems.

**Victor Zakharov** — PhD (Eng.), associate professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: distribution of natural gas in conditions of gas deficiency, on-line control of gas supply systems, rational use of gas fuel.

УДК 656.072.132

**Е. А. ВАЩИНСКАЯ**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## **К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ И ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА ОДЕССЫ**

В данной статье освещены вопросы модернизации транспортной системы Одессы в контексте генерального плана развития города. При модернизации транспортной системы необходимо включить ряд административных и градостроительных действий, направленных на повышение степени планировочной упорядоченности, структуризации сети транспортных коммуникаций, приведение технического состояния магистральных улиц и дорог в соответствие с генеральной концепцией транспортного обслуживания населения.

**модернизация, структуроформирующая магистраль, дифференциация транспортного потока**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

За последние 10 лет в результате многократного повышения уровня насыщения г. Одессы легковыми автомобилями возникла транспортная проблема с пропуском автомобильных потоков. Наиболее напряжённая обстановка сложилась в центральной части города и требует всестороннего совершенствования транспортной системы, её модернизации.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Проектом генерального плана Одессы предусмотрена модернизация улично-дорожной сети города и перспектива развития пассажирского транспорта. Общая длина магистральных улиц общегородского значения составит 410 км (сегодня 192,8 км при площади города 162,3 км<sup>2</sup>), из них: общегородского значения непрерывного движения — 43,0 км, общегородского значения регулируемого — 197,0 км, районного значения — 170,0 км. На местах пересечений магистральных улиц общегородского значения непрерывного движения с другими магистральными улицами города предусмотрены транспортные развязки в разных уровнях. На пересечениях магистральных улиц общегородского значения регулируемого движения с другими магистральными улицами. Транспортные развязки в одном и разных уровнях. Общее количество транспортных развязок составит 42 в разных уровнях и 13 в одном уровне.

Принципиальной ошибкой многих программ развития транспортных систем, используя любимое выражение А. И. Стрельникова, является неверное целеполагание. Когда во главу угла достижения цели, выдвигается изживаемая со всех сторон проблема высокой автомобилизации и дефицита уличного пространства. В настоящее время становится очевидным, что наилучшего положения с обслуживанием населения достигнут те города, где модернизируются и поддерживаются созданные ранее системы общественного пассажирского транспорта и прежде всего, его электрических видов — трамвая и троллейбуса. Те города, в которых улучшение транспортного обслуживания осуществляется через направление бюджетных средств на строительство дорогостоящих магистралей и преждевременных многоуровневых пересечений, ещё более усугубляют транспортную обстановку, поскольку уже сегодня разрыв между количеством автомобилей, находящихся в собственности населения, и приростом пропускных способностей магистралей чрезвычайно велик.

Ознакомившись с проектом Генерального плана, видим очевидные в нём серьёзные недоработки именно в транспортной сфере. Одним из важнейших аспектов решения транспортной проблемы, по мнению разработчиков Генплана, является система так называемого скоростного транспорта. Судя по краткой пояснительной записке, под этой системой подразумевается разработанный киевскими

специалистами монорельс. Линия монорельса в Москве, по мнению специалистов, как массовый пассажирский вид транспорта себя не оправдал и, похоже, никогда не окупится. Любой вид скоростного транспорта, способный развивать высокие скорости (100–400 км/ч), в условиях современного города с частым размещением остановочных пунктов теряет своё основное преимущество.

Создание системы метрополитена, монорельса или любого другого нового для Одессы вида транспорта — очень и очень дорогостоящее мероприятие, осуществление которого возможно лишь при значительном финансировании их госбюджетом или частными инвесторами.

Нынешний проект Генплана предлагает убирать с городских улиц трамвайное сообщение и развивать троллейбусное и автобусное. Это предложение спорное, так как трамвай — вид городского транспорта,двигающийся по выделенной полосе, является средством, способным обеспечить приемлемую быстроту пассажиропотока через всю территорию Одессы. Троллейбусы и автобусы, напротив, встанут в тех же пробках, в которых уже пребывают автомобили на одесских улицах, а дальнейшее увеличение их количества может привести к практической остановке транспортного потока.

Существующая плотность трамвайной сети в Одессе составляет 0,6 км/км<sup>2</sup>, проектируемая — 0,38 км/км<sup>2</sup>. Протяжённость трамвайных линий сократится с 97,8 до 61,5 км. К примеру, планируется убрать линию трамвая 21 маршрута, ведущую к полям орошения, где будет устраиваться рекреационная зона, и проектируется линия троллейбуса, которая не понятно с чем будет стыковаться в дальнейшем, если в настоящее время нет даже троллейбусного сообщения с Посёлком Котовского. Точно также не рациональна замена троллейбусом линия 10-го трамвая. Не проще ли и гораздо дешевле модернизировать существующие трамвайные линии?

В Киеве реализация данного сценария, в рамках которого было снято около 70 % линий трамвая в центре города и ликвидировано трамвайное сообщение через Днепр, привела к существенному увеличению нагрузки на метро и наземный общественный транспорт, но так и не решила проблему пробок в центральной части города. В Одессе, учитывая совершенно иное расположение районов, плотность застройки и, наконец, ввиду очень малой вероятности постройки метрополитена, отказываться от наземного рельсового транспорта нельзя. Трамвай имеет целый ряд преимуществ: первоначальные затраты ниже, чем строительство метро; вместимость вагонов выше, чем у троллейбусов и автобусов; пассажироёмкость многосекционного, сочленённого вообще недостижима для троллейбусов и автобусов; не загрязняет воздух; электробезопасен, т. к. его кузов всегда заземлён через колёса и рельсы; трамвайные вагоны служат 30–40 лет.

Проблема дифференциации транспортных потоков становится всё более актуальной в связи с постоянным увеличением объёмов транспортного движения и перегрузкой уличной сети. На магистральных улицах общегородского значения необходимо планировать выделенные полосы для скоростного движения автобусов длинных маршрутов и других видов транспорта: таких как скорая помощь, пожарные машины и т. п. Каким образом это возможно сделать на таких улицах, как Преображенская, Пушкинская, Канатная, причисленных по генеральному плану к улицам общегородского значения? Основным решением генерального плана по развитию магистрально-уличной сети г. Одессы является создание магистралей непрерывного движения транспорта: Север-Юг и Запад-Восток. Магистраль Север-Юг должна соединить наиболее отдалённые жилые районы с центральной частью города. Магистраль Запад-Восток будет проходить по ул. Михаила Грушевского, Ленинградскому шоссе и далее на Киевскую трассу. К сожалению, этих магистралей недостаточно для единой системы улично-дорожной сети города, которая должна обеспечивать скорость движения 70–100 км/ч и пропуск автомобильных потоков от 4 до 10 тыс. автомобилей в 1 час.

По проведенным на кафедре «Городского строительства и хозяйства» ОГАСА расчётам удельных автомобилепотоков, характеризующих величину транспортной нагрузки в Одессе, необходимы хотя бы четыре структуроформирующие магистрали. Если принять запроектированные магистрали Север-Юг и Запад-Восток структуроформирующими, то необходимы ещё две.

Для обеспечения расчетной скорости движения по структуроформирующим магистралям необходимо устройство боковых проездов (улиц), ограничивающих свободный выезд на дорогу. Возможность выезда на дорогу скоростного движения должна обеспечиваться специальными съездами, устроенными до и после пересечений в разных уровнях в удалении от них не менее 250 м, а также в пределах перегонов на расстоянии не менее 500 м друг от друга. Эти съезды оборудуются дополнительными полосами замедления и ускорения движения. Соответственно это следует учесть в геометрических параметрах в этих магистралях. На уже реконструируемом участке магистрали Север-Юг по Балковской это будет сложно сделать, где ширина улицы ограничена.

Сегодня на улицах Одессы, особенно в центральной части города, в среднем одна полоса движения занимает под несанкционированные стоянки автомобилей, что стесняет поток движения. Необходимо в генеральном плане больше уделить внимания системам парковки и хранения автомобилей, путём устройства многоэтажных и подземных паркингов, а также перехватывающих стоянок.

В генеральном плане Одессы не предусмотрено использование городского железнодорожного транспорта, а ведь существующая железнодорожная линия охватывает значительную часть города и её с успехом можно использовать для массовых пассажирских перевозок. В Киеве введена в эксплуатацию кольцевая железнодорожная линия, по которой движется городская электричка, и она с успехом осуществляет большие пассажироперевозки. Преимущество городских электричек доказано мировой практикой.

В дорожно-уличной сети Одессы следует предусмотреть как можно больше велосипедных дорожек и мест для хранения велосипедов, а также пешеходных улиц.

## ВЫВОДЫ

Генеральный план Одессы является основным документом развития города, поэтому особенно важно запланировать транспортную систему, которая должна уменьшить существующие нагрузки на городские территории. Прежде всего это касается использования прогрессивных приёмов организации пассажирских перевозок при поездках в центральный район. Планировочная организация магистральной уличной сети, установление параметров магистралей в красных линиях и линиях застройки закрепляют физические пространства структурных элементов всей освоенной территории на многие десятилетия вперёд, что делает процесс формирования системы автомобильных магистралей в Одессе исключительно важным и ответственным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень [Текст] : ДБН 360-92\*\*. — Перевидання ДБН 360-92\* з урахуванням змін № 4-10 ; чинний від 2002-04-19. — К. : Держбуд України, 2002. — 107 с. — (Державні будівельні норми).
2. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів [Текст] : ДБН В.2.3-5-2001. — Вводяться вперше ; введ. 2001-10-01. — К. : Держбуд України, 2001. — 51 с. — (Державні будівельні норми України).
3. Генеральний план Одеси [Текст] / ДП УкрдержНДІ проектування міст «ДІПРОМІСТО» ім. Ю. М. Білокопня. — К. : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008. — 356 с. — (Альбом ілюстративних матеріалів).
4. Лобанов, Е. М. Транспортная планировка городов [Текст] / Е. М. Лобанов. — М. : Транспорт, 1990. — 240 с.
5. Васильева, А. Ю. Методы борьбы с заторами на улично-дорожной сети городов [Текст] / А. Ю. Васильева, Е. А. Рейцен // Вісник КНУБА : Наук.-техн. зб. — К. : КНУБА, 2009. — № 34. — С. 114–117.
6. Дёмин, Н. М. Управление развитием градостроительных систем [Текст] / Н. М. Дёмин. — К. : Будівельник, 1991. — 97 с.

Получено 06.03.2012

О. А. ВАЩИНСЬКА

ДО ПИТАННЯ ПРО МОДЕРНІЗАЦІЮ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА  
ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА ОДЕСА

Одеська державна академія будівництва та архітектури

У статті висвітлені питання модернізації транспортної системи Одеси в контексті генерального плану розвитку міста. При модернізації транспортної системи необхідно включити ряд адміністративних і містобудівних дій, спрямованих на підвищення ступеня планувальної упорядкованості, структуризації мережі транспортних комунікацій, приведення технічного стану магістральних вулиць і доріг у відповідність з генеральною концепцією транспортного обслуговування населення.  
**модернізація, структуроформувальна магістраль, диференціація транспортного потоку**

ELENA VASHCHINSKAYA  
ON THE QUESTION OF MODERNIZATION STREET ROAD NETWORK AND  
TRANSPORT SYSTEM OF ODESSA

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

In this article the questions of modernization of a transport system of Odesa have been analysed. During modernization of a transport system it is necessary to include the row of administrative and town-planning actions aimed at increase of degree of a plan efficiency, structuring of network of transport communications, putting of technical state of main streets and roads in accordance with general conception of a transport service of population.

**modernization, struktureforming highway, differentiation of a transport stream**

**Ващинська Олена Андріївна** — старший викладач кафедри міського будівництва і господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: вивчення питань містоутворювальних факторів у формуванні вулично-дорожньої мережі міст Причорномор'я України.

**Ващинская Елена Андреевна** — старший преподаватель кафедры городского строительства и хозяйства Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение вопросов градообразующих факторов в формировании улично-дорожной сети городов Причерноморья Украины.

**Elena Vashchinskaya** — a senior lecturer, Municipal Economy and Construction Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: study of the problems of urban development factors in road network forming of the Black Sea region towns and cities of Ukraine.



УДК 628.3

**В. И. ЗЯТИНА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ МОЙКИ АВТОТРАНСПОРТА С ПОВТОРНЫМ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**

Рассмотрены основные проблемы очистки сточных вод от мойки автотранспорта, рассмотрены схемы для водоподготовки, выполнен анализ рынка на предмет применения флокулянтов для очистки сточных вод данного характера.

**флокулянт, схемы водоподготовки, очистка сточных вод**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Качество воды для различных нужд регулируется целым рядом нормативных документов, многие из которых очень ужесточили требования к очищенной жидкости [1]. Поэтому огромное внимание на сегодняшний день уделяется качественной очистке и экономии пресной воды.

Сложно представить жизнь без автотранспорта, будь то общественный автобус либо личный автомобиль. Но любая вещь требует ухода, поэтому необходимо проводить соответствующее техническое обслуживание, в том числе и мойку кузова и моторного отсека. Это приводит за собой расход пресной воды на чистку кузова, что наряду с большими «водными» проблемами недопустимо.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Еще в процессе мойки авто в окружающую среду сбрасывается большое количество неочищенных стоков. Сложность очистки данной категории сточной жидкости связана с большой разновидностью примесей в стоках, количество и состав которых постоянно изменяется. Обычно в составе сточных вод от мойки автомобилей присутствуют: механические примеси (минеральные взвешенные вещества), нефтепродукты, масла, бензин, поверхностно активные вещества (ПАВ) и другие загрязняющие вещества. Но в зависимости от времени года, местоположения мойки и других условий состав стока может меняться.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

В данной статье уделяется внимание описанию, отработке и усовершенствованию процесса очистки сточных вод от мойки автотранспорта. Рассмотрены возможности использования данных процессов водоподготовки для различных схем водоочистки, с проточной схемой либо с оборотом жидкости.

Одним из наиболее распространенных и применяемых процессов в оборотном водоснабжении автомоечных станций является механическая очистка [3]; физико-химическая очистка [2] основана на применении ряда процессов: коагуляции, сорбции, флотации, флокуляции и обессоливания.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

На сегодняшний день известно большое количество способов и процессов для водоподготовки [4, 5], каждый из которых как по отдельности, так и в связке с остальными заслуживает подробного рассмотрения для применения в автомоечной промышленности.

Одной из наиболее перспективных схем оборотного водоснабжения для автотранспортных предприятий можно считать технологию, приведенную на рисунке 1, включающую наиболее полный на сегодняшний день способ водоподготовки. Пройдя такие стадии, как: механическая, физико-химическая, сорбционная, а также полная биологическая очистка с последующим обеззараживанием — вода выходит полностью готовой к повторному использованию.

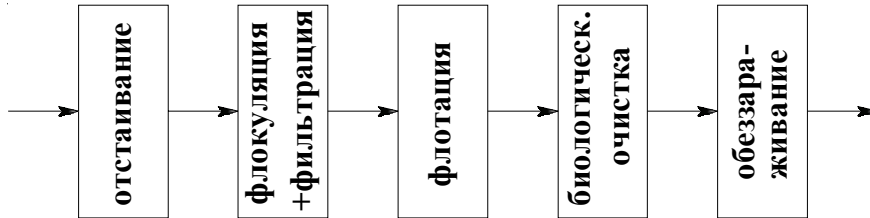


Рисунок 1 — Технологическая схема установки очистки.

Флокуляция [5, 7] — объединение мелких частиц дисперсных систем в более крупные под влиянием сил сцепления с образованием коагуляционных структур, физико-химический процесс слипания коллоидных частиц.

В основном, полимеры используют для улучшения разделения твердой и жидкой фаз в водной среде, в результате чего значительно увеличивается скорость разделения, и из водной среды удаляются мелкие твердые частицы. Современные флокулянты делят на несколько групп: неионогенные, анионные, катионные.

По сравнению с неорганическими, полимерные, и в частности, полиакриламидные, флокулянты обладают следующими преимуществами: работают в широком диапазоне pH и щелочности; не изменяют pH очищенной воды; на их действие не влияет хлорирование; не способствуют образованию в очищенной воде растворенных металлов (т. е. алюминия или железа); увеличивают скорость разделения жидкой и твердой фазы; увеличивают срок службы фильтров прямой фильтрации; удаляют одноклеточные водоросли; минимизируют объем образуемого осадка; образуют легко обезвоживаемый осадок; сокращаются расходы на обработку и удаление осадка; более удобны в приготовлении и использовании.

В силу огромного количества предлагаемых на сегодняшний день реагентов возникает вопрос с типом и маркой требуемых для наиболее продуктивной физико-химической очистки реагентов. В лаборатории ДонНАСА и одной из автомоек г. Макеевки был проведен анализ и произведен выбор наиболее оптимального флокулянта для работы со сточной жидкостью данного характера.

В процессе сравнения был проведен наиболее полный анализ рынка реагентного хозяйства, предлагаемого отечественными и зарубежными производителями в Украине. Проводилась работа по подбору оптимального вида и типа, способу дозирования и рабочих концентраций применяемых реагентов.

Исследуемые в работе марки: Floram (производитель Франция), KOLON BESFLOC (производитель Корея), ПАА (производитель Украина), ECOFLOC (производитель Корея). Технические характеристики и рекомендованные сферы применения, а также наиболее удовлетворяющие флокулянты по эффективности очистки стока данного характера приведены в табл. 1.

Поскольку в представленной технологической схеме оборотного водоснабжения автомоечных постов ключевая позиция принадлежит биологической обработке воды при помощи микроорганизмов, представленных в активном иле, была проведена оценка наиболее подходящих марок реагентов на содержание в них токсических веществ по отношению к микроорганизмам активного ила.

Принцип биотестирования основан на сравнении выживаемости рыб в воде, содержащей токсические вещества, и в эталонном образце.

Кратковременное биотестирование (до 96 часов) позволяет определить острое токсическое действие воды на рыб по их выживаемости. Показателем выживаемости служит среднее количество тест-объектов, выживших в тестируемой воде или контроле за определенное время. Критерием токсичности является гибель 50 % и более рыб за период до 96 часов в тестируемой воде по сравнению с контролем. В качестве тест-объектов используют рыб, широко применяемых в международных и национальных стандартах по биотестированию воды, — гуппи (*Poecilia reticulata*) или данио (*Brachydanio rerio*) [8]. Результаты проведенного биотестирования приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Перечень проверяемых реагентов

Фирма	Ионный заряд	Сорт	Степень ионного заряда	pH	Молекулярная масса	Основное предназначение	Эффективность
Besfloc	Катионный	K051C	Очень низкая	3,0 ~ 5,0	Очень низкая	PC, DW [9]	–
		K510CA	Очень низкая	3,0 ~ 5,0	Низкая	PC, DW [9]	+
		K6729	Низкий	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW [9]	–
	Анионный	K4034	Низкий	7,0 ~ 8,0	Средняя	PC [9]	–
		K4041	Средний	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC, DW [9]	–
		K4045	Высокий	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC, DW [9]	–
		K4046	Высокий	7,0 ~ 8,0	Очень высокая	PC [9]	–
FLOPAM	Катионный	FO4550SH	Высокий	7,0 ~ 8,0	Очень высокая	PC, DW [12]	+
	Анионный	AN 905	Высокий	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC [12]	–
ECOFLOC	Анионный	ECOFLOC A18	Среднее	7,0 ~ 8,0	Сверх-высокая	PC, DW [13]	–
		ECOFLOC A19	Среднее	7,0 ~ 8,0	Средняя	PC, DW [13]	–
	Катионный	ECOFLOC K17	Высокое	3,0 ~ 5,0	Низкая	PC, DW [13]	–
		ECOFLOC K10	Среднее	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW [13]	–
		ECOFLOC K18	Высокое	3,0 ~ 5,0	Низкая	PC, DW [13]	–
	Неионогенный	ECOFLOC N3	Отсутствует	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC [13]	–
ПАА	Катионный	C-82	Низкий	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	–
		C-86	Высокое	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	–
		C-81	Низкий	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	–
		C-83	Высокое	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	–
		C-84	Высокое	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	+
		C-85	Высокое	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	–
		K-28	Высокое	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	–
		K-27	Высокое	3,0 ~ 5,0	Высокая	PC, DW, TH [12]	–
	Анионный	A-23	Среднее	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC, DW [12]	–
		A-25	Среднее	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC, DW [12]	–
		A-24	Среднее	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC, DW [12]	–
		A-21	Среднее	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC [12]	–
		A-22	Среднее	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC, DW [12]	–
	Неионогенный	H-23	Отсутствует	7,0 ~ 8,0	Высокая	PC, DW [12]	–

**PC:** Первичная очистка воды посредством осаждения или флотации (primary Clarification by sedimentation or flotation);

**DW:** Обезвоживание (обработка осадка) при помощи ленточного пресса, фильтра-пресса (Dewatering sludge by belt-press, filter-press);

**TH:** Сгущение осадка (Thickening sludge by filtration).

Далее была проведена серия лабораторных экспериментов, связанных с подбором оптимальной дозировки используемого реагента в воду, и оценка его эффективности. Результаты занесены в таблицу 2, также построен график функций (рис. 2).

Из таблицы 2 видно, что при обработке сточной жидкости, полученной в ходе мойки автотранспорта:

— pH остается на сравнительно постоянном уровне, т. е. данный реагент на общее водородное число не оказывает особого воздействия;

— содержание сточной жидкости, измеренное по NaCl, возрастает незначительно. На 2,8 мг/л на 1 мг реагента по сухому веществу;

Таблица 2 – Результаты проведенного тестирования

Наименование	Доза, мг/л	рН	Солесодержание NaCl, мг/л	Взвеш. в-ва, г/л	ХПК, мг/л	Токсикология	
						% погибших рыб	Показатель
Исходная жидкость	0	8,75	730	1,958	278	100	Остро токсична
Besfloc K510CA	3	8,76	750	0,052	215	≤ 5	Не токсичен
	7	8,81	764	0,015	191	≤ 5	
	10	8,85	798	0,56	186	≤ 10	
ПАА С-84	5	8,83	789	0,082	224	≤ 10	Не токсичен
	8	8,96	812	0,029	211	≤ 15	
	12	9,01	824	0,037	206	≤ 15	
FLOPAM FO4550SH	6	8,7	684	0,0348	176	≤ 5	Не токсичен
	9	8,9	797	0,009	139	≤ 5	
	15	8,5	816	0,044	134	≤ 5	

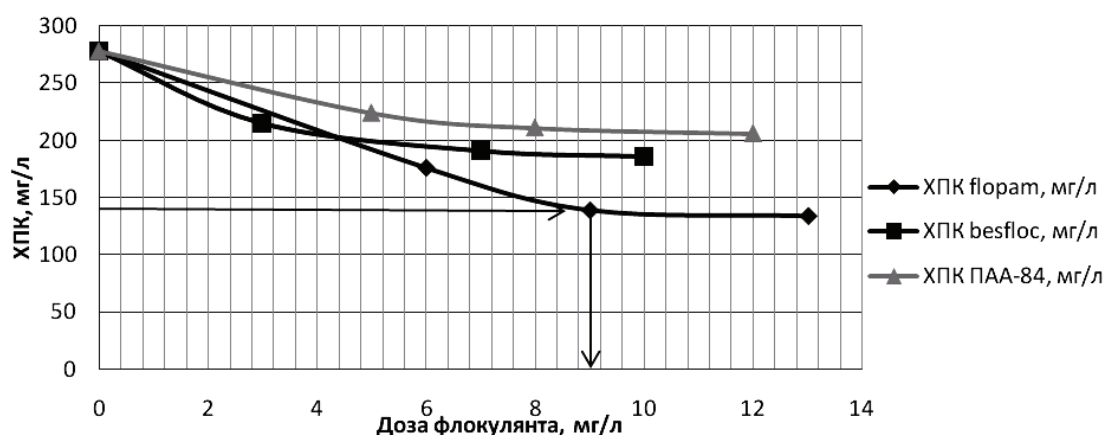


Рисунок 2 – Зависимость снижения ХПК от дозы применяемого реагента.

- взвешенные вещества эффективно снижаются даже при минимальных дозировках. Наиболее оптимальная эффективность при 18 мг/л;
- химическая потребность кислорода снижается на 50 % при оптимальной дозе реагента;
- зольность осадка в исходной пробе составляет 76 %;
- токсикологический анализ методом воздействия на рыб показал, что используемые реагенты не токсичны на микрофлору активного ила.

## ВЫВОД

- Из проведенного теста видно, что наиболее подходящими флокулянтами для физико-химической очистки сточных вод от мойки автотранспорта являются реагенты FLOPAM FO4550SH (9 мг/л), ПАА С-84 (8 мг/л), Besfloc K510CA (7 мг/л);
- при дальнейшем исследовании установлено: FLOPAM FO4550SH оптимальное снижение ХПК на 50 %, Besfloc K510CA на 35 %, ПАА С-84 на 26 %;
- взвешенных веществ на 99 %, нейтрален для уровня рН, на 2,8 мг/л на 1 мг реагента по сухому веществу повышает солесодержание по NaCl;
- зольность осадка в исходной пробе составляет 76 %;
- предпочтительными на данный момент являются катионные флокулянты, однако существует разбежность в эффективности в зависимости от характера примесей в отработанной жидкости;
- предлагаемые флокулянты не токсичны для применения биологической очистки;
- осадок хорошо и быстро осаждается, а после седиментации занимает малые объемы, имеет низкую влажность;
- значительно интенсифицирует механическую очистку и ускоряет отделение твердой фазы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Текст] : СанПиН 2.1.5.980-00. — Взамен СанПиН 4630-88 ; введ. 2001-01-01. — М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. — 84 с.
2. Канализация [Текст] / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. — Изд. пятое, перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1975. — 633 с.
3. Завьялов, С. Н. Мойка автомобилей (Технология и оборудование) [Текст] / С. Н. Завьялов. — М. : Транспорт, 1984. — 183 с.
4. Водоснабжение [Текст] / А. Я. Найманов, С. Б. Никиша, Н. П. Насонкина [и др.]. — Донецк : Норд-Пресс, 2004. — 649 с.
5. Теоретические основы очистки воды [Текст] / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев. — Донецк : Ноулидж, 2009. — 298 с.
6. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод [Текст] / Ю. И. Вейцер, Д. М. Минц. — 2-е изд., дораб. и доп. — М. : Стройиздат, 1984. — 200 с.
7. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды [Текст] : в 2-х ч. Ч. 1 / Л. А. Кульский [и др.] ; [отв. ред. А. Т. Пилипенко]. — К. : Наукова думка, 1980. — 680 с.
8. Мелехова, О. П. Биологический контроль окружающей среды (биоиндикация и биотестирование) [Текст] / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова. — М. : Академия, 2007. — 288 с.

Получено 06.03.2012

**В. І. ЗЯТІНА**

**ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ФЛОКУЛЯНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД МИТТЯ АВТОТРАНСПОРТУ З ПОВТОРНИМ ЇХ ВИКОРИСТАННЯМ**  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто основні проблеми очищення стічних вод від миття автотранспорту, розглянуті схеми для водопідготовки, виконано аналіз ринку на предмет застосування флокулянтів, для очистки стічних вод такого характеру.

**флокулянт, схеми водопідготовки, очищення стічних вод**

**VITALY ZYATINA**

**USE OF MODERN FLOCCULANT FOR CLEANING OF SEWAGES FROM WASHING OF MOTOR TRANSPORT WITH THEIR REUSE**  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The main problem of wastewater purification from the washing motor transport schemes for water conditioning have been considered. The analysis of the market for use of flocculants for wastewater purification has been made.

**flocculant, water conditioning schemes, wastewater purification**

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

**Зятіна Віталій Ільич** — аспірант, асистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка новых и усовершенствование технологий оборотного водоснабжения автотранспортных предприятий. Проработка основных процессов биологических процессов для данного типа сточных вод.

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

## ЗМІСТ

ГОРОЖАНКІН С. А., ВИБОРНОВ Д. В., МОНАХ С. І. Технічна та ресурсна складова процесу енергоресурсоощадження в Україні	3
ВИСОЦЬКИЙ С. П., КОНДРИКІНСЬКА А. В., ВАХТАНГШВІЛІ Н. Н. Економічні та екологічні показники використання теплових насосів та різних видів палива	9
СИМОНЕНКО О. П., СТУПІН О. Б., СОБКО О. Ю., ФОМЕНКО С. О. Застосування флокового покриття з водорозчинними полімерними наповнювачами в енергоощадженні та екології	15
ГУРІНЧИК Н. О. Вплив неоднорідності завантаження на роботу швидкого фільтра	22
ГУСЕНЦОВА Є. С., ГУСЕНЦОВА Я. А., КОВАЛЕНКО А. О., АНДРІЙЧУК К. М. Регулювання продуктивності вентилятора зміною параметрів лопатеві системи	26
ТКАЧЕНКО Т. М., САВЕНКОВА С. В. Розробка моделі біологічної рекультивациі промислових відвалів шахти ім. Артема м. Дзержинська	32
ТОЛСТИХ А. С., УДОВИЧЕНКО З. В., ВАСИЛЬЄВ О. О., КУБРАК Л. А. Експериментальне дослідження очищення газів від $\text{NO}_x$ з отриманням азотованих добрив	37
СЕРБІН В. А., ЧЕБОТАРЬОВА О. В., КОЛОСОВА Н. В. Особливості теплообміну в метантенку при зброжуванні неперемішуваної біомаси	42
КРАВЕЦЬ В. А. Експериментальне дослідження параметрів викидів при переливах розплаву чавуну	49
УДОВИЧЕНКО З. В., САВІЧ Д. В., ПЛАХОТНЮК А. О. Визначення коефіцієнта гідравлічного тертя газопроводу	53
ОЛЕКСЮК А. О., ДОЛГОВ М. В. Гідравлічний режим теплової мережі за незалежною схемою приєднання з підігрівально-акумулятивною установкою	58
КУХАР Г. В. Особливості проектування будівель на деформованих територіях	64
ОЛЕКСЮК А. О., ШИТІКОВА І. Г., ГОРДЕЛЮК А. А. Математична модель розрахунку теплообмінників змієвикового типу для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання	70
САЛІЄВ Е. І. Діагностика при оптимізації систем подачі та розподілення води	76
КОВАЛЬЧУК В. А. Автотермофільна аеробна стабілізація осадів стічних вод	80
ГОЛОВАЧ Ю. О., ЗАХАРОВ В. І. Визначення основних показників надійності при проектуванні газових мереж	84
ЗАВАДА Т. М., ЗАХАРОВ В. І. Аналіз існуючих математичних моделей оперативного управління технологічними процесами міських систем газопостачання	91
ВАЩИНСЬКА О. А. До питання про модернізацію вулично-дорожньої мережі та транспортної системи міста Одеса	97
ЗЯТІНА В. І. Використання сучасних флокулянтів для очищення стічних вод від миття автотранспорту з повторним їх використанням	101

## СОДЕРЖАНИЕ

ГОРОЖАНКИН С. А., ВЫБОРНОВ Д. В., МОНАХ С. И. Техническая и ресурсная составляющая процесса энергоресурсосбережения в Украине	3
ВЫСОЦКИЙ С. П., КОНДРЫКИНСКАЯ А. В., ВАХТАНГИШВИЛИ Н. Н. Экономические и экологические показатели использования тепловых насосов и разных видов топлива	9
СИМОНЕНКО А. П., СТУПИН А. Б., СОБКО А. Ю., ФОМЕНКО С. А. Применение флокового покрытия с водорастворимыми полимерными наполнителями в энергосбережении и экологии	15
ГУРИНЧИК Н. А. Влияние неоднородности загрузки на работу скорого фильтра	22
ГУСЕНЦОВА Е. С., ГУСЕНЦОВА Я. А., КОВАЛЕНКО А. А., АНДРИЙЧУК К. Н. Регулирование производительности вентилятора изменением параметров лопастной системы	26
ТКАЧЕНКО Т. Н., САВЕНКОВА С. В. Разработка модели биологической рекультивации промышленных отвалов шахты им. Артема г. Дзержинска	32
ТОЛСТЫХ А. С., УДОВИЧЕНКО З. В., ВАСИЛЬЕВ А. О., КУБРАК Л. А. Экспериментальное исследование очистки газов от $\text{NO}_x$ с получением азотированных удобрений	37
СЕРБИН В. А., ЧЕБОТАРЕВА О. В., КОЛОСОВА Н. В. Особенности теплообмена в метантенке при сбраживании неперемешиваемой биомассы	42
КРАВЕЦ В. А. Экспериментальное исследование параметров выбросов при переливах расплава чугуна	49
УДОВИЧЕНКО З. В., САВИЧ Д. В., ПЛАХОТНЮК А. О. Определение коэффициента гидравлического трения газопровода	53
ОЛЕКСЮК А. А., ДОЛГОВ Н. В. Гидравлический режим тепловой сети с независимой схемой присоединения с подогревательно-аккумуляторной установкой	58
КУХАРЬ А. В. Особенности проектирования зданий на деформируемых территориях	64
ОЛЕКСЮК А. А., ШИТИКОВА И. Г., ГОРДЕЛЮК А. А. Математическая модель расчета теплообменников змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения	70
САЛИЕВ Э. И. Диагностика при оптимизации систем подачи и распределения воды	76
КОВАЛЬЧУК В. А. Автотермофильная аэробная стабилизация осадков сточных вод	80
ГОЛОВАЧ Ю. А., ЗАХАРОВ В. И. Определение основных показателей надежности при проектировании газовых сетей	84
ЗАВАДА Т. Н., ЗАХАРОВ В. И. Анализ существующих математических моделей оперативного управления технологическими процессами городских систем газоснабжения	91
ВАЩИНСКАЯ Е. А. К вопросу о модернизации улично-дорожной сети и транспортной системы города Одессы	97
ЗЯТИНА В. И. Использование современных флокулянтов для очистки сточных вод от мойки автотранспорта с повторным их использованием	101

## CONTENTS

GOROZHANKIN SERGEY, VYBORNOV DMITRY, MONAKH SVETLANA. Technical and resource component of process saving energy and resources in Ukraine	3
VYSOTSKY SERGEY, KONDRYKINSKAYA ANNA, VAKHTANGISHVILININO. Economical and ecological indexes of use of heat pumps and different kinds of fuel	9
SIMONENKO ALEXANDER, STUPIN ALEXANDER, SOBKO ALEXANDER, FOMENKO SERGEY. Application of flock covering with water — soluble filler in energy-savings and ecology	15
GURINCHIK NATALIA. The influence of nonhomogeneity of load ratio on high capacity filter work	22
GUSENTOVA ELIZABETH, GUSENTOVA YANA, KOVALENKO ALIM, ANDRIJCHUK KONSTANTIN. Regulation of productivity of the fan by change of parameters blade systems	26
TKACHENKO TATIANA, SAVENKOVA SVETLANA. Development of model of the biological recultivation. of industrial mine dumps of coal-mine named after Artem, Dzerzhinsk	32
TOLSTYKH ANDREI, UDOVICHENKO ZLATA, VASILEV ALEKSEJ, KUBRAK LIUDMYLA. Experimental research of cleaning of gases from $\text{NO}_x$ with a receipt of nitrated fertilizers	37
SERBIN VLADIMIR, CHEBOTARYOVA OLGA, KOLOSOVA NELLY. Features of heat exchange in a methane-tank in the process of fermentation of unmixed biomass	42
KRAVETS VASILYIY. Experimental research of emission parameters during overflow of iron flux	49
UDOVICHENKO ZLATA, SAVICH DARYA, PLAKHOTNIUK ANNA. Determination of the coefficient of hydraulic friction of the gas pipeline	53
OLEKSUYK ANATOLIY, DOLGOV NYKOLAY. Hydraulic mode of thermal network with independent chart of joining of subscriber systems of heating and hot water-supply from individual thermal points with setting	58
KUKHAR HANNA. Peculiarity of building design at deformed territories	64
OLEKSIUK ANATOLIY, SHITIKOVA IRINA, GORDELIUK ARTEM. Mathematical model of calculation of heat exchangers of a coiled type for heating and hot water supply independent systems	70
SALIEV ENVER. Test operation during optimization of water supply and distribution system	76
KOVALCHUK VICTOR. Autothermal thermophilic aerobic stabilization of wastewater sludge	80
GOLOVACH YULIA, ZAKHAROV VICTOR. Determination of basic reliability indexes at designing of gas-distributing systems	84
ZAVADA TATYANA, ZAKHAROV VICTOR. The analysis of existing mathematical models operative management of technological processes of city systems of gas supply	91
VASHCHINSKAYA ELENA. On the question of modernization street road network and transport system of Odessa	97
ZYATINA VITALY. Use of modern flocculant for cleaning of sewages from washing of motor transport with their reuse	101