

Polish Academy of Sciences
University of Engineering and Economics in Rzeszów
University of Life Sciences in Lublin
Faculty of Production Engineering

MOTROL

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS
IN AGRICULTURE**

**AN INTERNATIONAL JOURNAL
ON OPERATION OF FARM
AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY**

Vol. 17, No 6

LUBLIN – RZESZÓW 2015

Editor-in-Chief: *Eugeniusz Krasowski*

Assistant Editor: *Jerzy Grudziński*

Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Dmytro Voytiuk*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Mościcki*, Lublin
3. Energetics: *Iliia Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Kraków, *Roman Kadaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Lichołaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Kornacki*, Lublin, *Rostislav Bun*, Lviv

Editorial Board

<i>Dariusz Andrejko</i> , Lublin, Poland	<i>Jaromir Mysłowski</i> , Szczecin, Poland
<i>Andrzej Baliński</i> , Kraków, Poland	<i>Ignacy Niedziółka</i> , Lublin, Poland
<i>Volodymyr Bulgakow</i> , Kiev, Ukraine	<i>Stanisław Nikolajenko</i> , Kiev, Ukraine
<i>Zbigniew Burski</i> , Lublin, Poland	<i>Paweł Nosko</i> , Lugansk, Ukraine
<i>Karol Cupiał</i> , Częstochowa, Poland	<i>Gennadij Oborski</i> , Odessa, Ukraine
<i>Aleksandr Dashchenko</i> , Odessa, Ukraine	<i>Yurij Osenin</i> , Lugansk, Ukraine
<i>Kazimierz Dreszer</i> , Lublin, Poland	<i>Marian Panasiewicz</i> , Lublin, Poland
<i>Konstantin Dumenko</i> , Mykolayiv, Ukraine	<i>Sergiej Pastushenko</i> , Mykolayiv, Ukraine
<i>Dariusz Dziki</i> , Lublin, Poland	<i>Iwan Rohowski</i> , Kiev, Ukraine
<i>Stepan Epoyan</i> , Kharkiv, Ukraine	<i>Zinovii Ruzhylo</i> , Kiev, Ukraine
<i>Jan Gliński</i> , Lublin, Poland	<i>Vjacheslav Shebanin</i> , Mykolayiv, Ukraine
<i>Dimitriy Goncharenko</i> , Kharkiv, Ukraine	<i>Povilas A. Sirvydas</i> , Kaunas, Lithuania
<i>Janusz Grzelka</i> , Częstochowa, Poland	<i>Volodymyr Snitynskiy</i> , Lviv, Ukraine
<i>Aleksandr Hołubenko</i> , Lugansk, Ukraine	<i>Stanisław Sosnowski</i> , Rzeszów, Poland
<i>L.P.B.M. Jonsen</i> , Groningen, Holland	<i>Henryk Sobczuk</i> , Lublin, Poland
<i>Stepan Kovalyshyn</i> , Lviv, Ukraine	<i>Ludvikas Spokas</i> , Kaunas, Lithuania
<i>Józef Kowalczyk</i> , Lublin, Poland	<i>Andrzej Stępniewski</i> , Lublin, Poland
<i>Volodymyr Kravchuk</i> , Kiev, Ukraine	<i>Michał Sukach</i> , Kiev, Ukraine
<i>Petro Kulikov</i> , Kiev, Ukraine	<i>Aleksandr Sydoruk</i> , Kiev, Ukraine
<i>Elżbieta Kusińska</i> , Lublin, Poland	<i>Beata Ślaska-Grzywna</i> , Lublin, Poland
<i>Andrzej Kusz</i> , Lublin, Poland	<i>Wojciech Tanaś</i> , Lublin, Poland
<i>Janusz Laskowski</i> , Lublin, Poland	<i>Giorgiy F. Tayanowski</i> , Minsk, Belarus
<i>Kazimierz Lejda</i> , Rzeszów, Poland	<i>Leonid Tishchenko</i> , Kharkiv, Ukraine
<i>Jerzy Merkisz</i> , Poznań, Poland	<i>Denis Viesturs</i> , Ulbrok, Latvia
<i>Jarosław Mykhajlovych</i> , Kiev, Ukraine	<i>Anatolij Yakovenko</i> , Odessa, Ukraine
<i>Janusz Mysłowski</i> , Szczecin, Poland	<i>Tadeusz Złoto</i> , Częstochowa, Poland

All the articles are available on the webpage: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Teka-Motrol.html>

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Stepan Epoyan*

Typeset: *Victor Sopov*, *Adam Niezbecki*

Cover design: *Hanna Krasowska-Kołodziej*

Photo on the cover: *Natalia Zhytariuk*

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2015

© Copyright by University of Life Sciences in Lublin 2015

© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2015

in co-operation with Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture 2015

Editorial Office address

Polish Academy of Sciences Branch in Lublin
Pałac Czartoryskich, Plac Litewski 2, 20-080 Lublin, Poland
e-mail: eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl

Printing

Private firm «Mikhailov»

Publishing Office address

PO Box 2410, Kharkiv, 61095

ISSN 1730-8658
Edition 150+16 vol.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИ- СТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. ХАРЬКОВА

Дмитрий Гончаренко, Алевтина Алейникова¹, Ефим Клейн²

¹ Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Адрес: Украина, 61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40

E-mail: gabriel222@rambler.ru

² КП «Харьковводоканал»

Адрес: Украина, 61013, г. Харьков, ул. Шевченко, 2

Аннотация. Рассмотрен комплекс организационно-технологических мероприятий, направленный на обеспечение надежного функционирования системы водоснабжения г. Харькова, представлены технологические особенности производства восстановительных работ на водопроводных сетях города.

Ключевые слова: водопроводная система, сеть водоснабжения, износ, надежность, восстановление.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы всё большее внимание уделяется вопросам обеспечения надежности и безотказности работы водораспределительной системы, а также восстановлению подземных трубопроводов водоснабжения. На сегодняшний день большая часть систем водоснабжения Украины, в том числе г. Харькова, по техническому состоянию прогрессируя приближается к аварийному. Отсутствие финансирования в 90-х годах XX столетия привело к постепенному физическому и моральному старению систем и оборудования, увеличению аварийности на объектах и сетях, снижению качества питьевой воды, увеличению негативного воздействия на окружающую природную среду и тому подобное. Следует отметить, что в последние годы были попытки возобновить финансирование отрасли, но его объемы оказались недостаточными для восстановления всех звеньев систем водоснабжения, которые практически исчерпали свой эксплуатационный ресурс. В связи с этим вопрос повышения надежности функционирования систем водоснабжения стоит как никогда актуально.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Вопросам надежного функционирования и эксплуатационной долговечности систем водоснабжения и поиска эффективных технологических решений в процессе ремонтно-восстановительных работ посвящены работы ученых Украины, России, Германии и других стран: В. Петросова [12], Н. Колотило [8], Д. Гончаренко [2-4], П. Махнева [9], С. Храменкова [14-16], В. Орлова [10,11], А. Примина [13], Хайнриха Вевелера [3,4,5], Питера Брусига [18], Михаэля Ульбиха [20], Адольфа Бема [17], Герхарда Кисельбаха [19] и других. Следует отметить, что немецкие ученые уделяют значительное внимание прокладке и ремонту трубопроводов водоснабжения с использованием бестраншейных тех-

нологий восстановления. Весомый вклад в развитие водораспределительной системы г. Харькова был внесен В. Петросовым, автор [12] значительное внимание уделил вопросам повышения эксплуатационной долговечности систем водоснабжения. Его многолетние наблюдения и исследования позволили определить тенденцию развития и влияние процесса инкрустации на пропускную способность трубопровода.

В исследованиях Д. Гончаренко и Х. Вевелера [3-5] большое внимание уделено вопросам обеспечения надежности и безотказности работы водопроводной системы, а также восстановления водопроводных магистралей бестраншейным способом с применением полиэтиленовых труб.

В настоящее время все большее число исследователей серьезно рассматривают перспективы закрытого способа восстановления трубопроводов, выделяют важность масштабного внедрения экономических технологий проведения ремонтно-восстановительных работ закрытым способом.

В. Орлов [10,11] отмечает, что бестраншейные технологии, ввиду своих преимуществ перед открытым способом восстановления, обладают такой характеристикой, как экологичность производства ремонтно-восстановительных работ.

Следует отметить тот факт, что открытый способ ремонта трубопроводов водоснабжения имеет ряд преимуществ перед закрытым способом: рационален при небольшой глубине заложения трубопроводов и относительно небольшой протяженности восстанавливаемого участка, а также при отсутствии специализированного оборудования для бестраншейных технологий.

Несмотря на отечественный и зарубежный опыт, многочисленные и объёмные исследования в области ремонта и восстановления водопроводных систем, представляет интерес вопрос организационных и технологических особенностей повышения надежности их функционирования на практике.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данного исследования является научное обоснование и поиск путей повышения надежности функционирования систем водоснабжения г. Харькова.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- исследовать комплекс мероприятий, направленных на повышение надежности функционирования системы водоснабжения г. Харькова путем проведения ремонтно-восстановительных работ на водопроводных сетях в районе пр. Московского;
- проанализировать существующие материалы и средства механизации, применяемые при выполнении восстановительных работ;
- рассмотреть технологические особенности проведения работ и научно обосновать выбор вариантов восстановления сетей водоснабжения.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения определенной (данной) группы потребителей (данного объекта) водой в требуемых количествах и требуемого качества. Кроме того, система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, т.е. обеспечивать снабжение потребителей водой без недопустимого снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды (перерывы или снижение подачи воды или ухудшение ее качества в недопустимых пределах) [11]. Ключевым элементом ее являются водопроводные сети различного диаметра и запорно-регулирующая арматура. В существующих условиях эксплуатирующее предприятие системы водоснабжения г. Харькова осуществляет свою деятельность на грани технических и организационных возможностей, про что свидетельствуют высокий износ основных фондов и недостаточное

финансирование отрасли водопроводного хозяйства. Общая протяженность сетей водоснабжения города составляет около 2100 км, 35 % из которых находятся в аварийном состоянии [2].

Ограниченное выделение финансовых ресурсов на плановый капитальный ремонт водопроводных сетей влечет за собой интенсивный поиск организационно-технологических решений, позволяющих обеспечить экономическую эффективность от последующей эксплуатации систем водоснабжения г. Харькова.

Представляет интерес опыт производства ремонтно-восстановительных работ на сетях водоснабжения по пр. Московскому в г. Харькове. В связи с полной реконструкцией проспекта в части капитального ремонта дорожного полотна и трамвайных путей вопрос обеспечения надежного функционирования подземных коммуникаций, в частности систем водоснабжения, стоял особо остро. Также было установлено, что при условии восстановления изношенных участков водопроводной системы, замене запорно-регулирующей арматуры возможно частично оптимизировать действие насосного агрегата на насосной станции № 29, что позволит обеспечить энергосбережение. Ввиду этого был разработан комплекс мероприятий, направленный на повышение надежности функционирования системы водоснабжения в районе жилого массива Малышева по пр. Московскому, который включает:

- частичную замену изношенных участков водовода DN 900, проходящему на зеленой полосе, а также под реконструируемыми трамвайными путями;
- строительство перемычек (соединение водовода DN 900 с тупиковыми сетями водоснабжения) по ул. Соича и ул. Кошкина;
- замену запорно-регулирующей арматуры в колодцах в зоне реконструкции (рис. 1).



- Водовод DN 900 по пр. Московскому
- Участок водовода под восстановление
- Трасса строительства перемычки DN 250 по ул. Соича
- Трасса строительства перемычки DN 400 по ул. Кошкина

Рис. 1. Комплекс мероприятий восстановления сетей водоснабжения по пр. Московскому в г. Харькове
Fig. 1. Restoration of water supply laid on ave. Moscovskiy in Kharkov

В зоне реконструкции по пр. Московскому проходит чугунный водовод DN 900, отдельные части которого выполнены из стали (рис. 2), рабочее давление в сети составляет 5,5-6 атм. Оценка его состояния выполнялась с помощью телеинспекционной установки (рис. 3).

В ходе телеинспекционного контроля установлено, что техническое состояние стального участка водовода находится в крайне изношенном, аварийном состоянии, его внутренняя поверхность подвержена коррозионным процессам и зарастанию, наблюдается значительное уменьшение толщины стенки трубы (рис. 4).

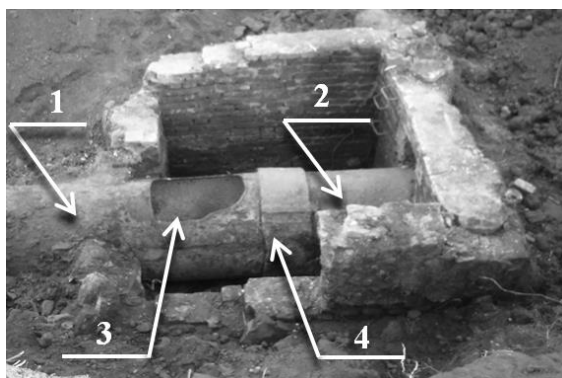


Рис. 2. Узел соединения труб водовода по пр. Московскому:

1- стальная труба; 2 - чугунная труба; 3 - окно для видеосмотра; 4 - стыковое соединение

Fig. 2. Butt joint pipe conduit ave. Moscovskiy:

1 - steel pipe; 2 - cast iron pipe; 3 - box for installation videoinspction; 4 - butt joint



Рис. 3. Телеинспекция водовода DN 900

Fig. 3. Teleinspection of water conduit DN 900

Ввиду того что давление в водоводе составляет 5,5-6 атм. его будет достаточно для надежного водоснабжения жителей жилого массива Малышева и пос. Артема (за исключением жилых домов этажностью выше 9 этажей, в которых предусматриваются подкачивающие установки для обеспечения необходимого напора) необходимо частично изменить зону влияния насосной станции № 29 на данный район, путем строительства перемычек (соединение водовода DN 900 по пр. Московскому с тупи-

ковыми сетями водоснабжения по ул. Соича и ул. Кошкина).



Рис. 4. Внутренняя стенка стального водовода DN 900

Fig. 4. The inner wall of the steel culvert DN 900

Первым этапом реализации мероприятий по повышению надежности водоснабжения рассматриваемого микрорайона г. Харькова является восстановление изношенного участка DN 900. Исследуемый участок стального трубопровода имеет овальное сечение, ориентировочная протяженность которого составляет ориентировочно 20 п.м. После анализа технико-экономических показателей технологий восстановления, выводов и результатов работы автоматизированной информационной системы выбора рационального способа восстановления сетей водоснабжения установлено, что открытый ремонт наиболее применим для заданных условий [1]. Вместо технически изношенного участка водовода открытым способом был уложен трубопровод с внутренним защитным покрытием DN 800. Технологическая последовательность выполнения ремонта водовода открытым способом заключалась в следующих операциях: спуск воды в водоводе, планировка трассы восстановления бульдозером, рытье траншеи одноковшовым экскаватором с обратной лопатой с последующим укреплением стенок котлована (рис.5), демонтаж существующего поврежденного трубопровода с последующей зачисткой дна котлована и подготовкой к укладке нового трубопровода (рис.6), укладка труб новых в котлован, стыковка участков трубопровода, сварка стыковых соединений труб, зачеканка стыка «чугун-сталь», проверка качества зачеканки и сварки стыковых соединений, гидравлические испытания трубопровода, обратная засыпка траншеи [6].

В соответствии с разработанной технической документацией укладка труб в траншею на песчаной подушке 10 см выполнялась с последующей присыпкой трубы на высоту не менее 20 см. Монтаж стыков труб производится непосредственно в траншее. Поскольку концы трубы из чугуна и стали одинакового диаметра DN 900 (на конец стального водовода DN800 предварительно был наварен стальной переход DN900), то соединение труб «чугун-сталь» производят по той же технологии, что и сты-

ковку двух чугунных труб – в чугунную трубу выполняется зачеканка стальной трубы (рис.7).



Рис. 5. Разработка грунта и устройство траншеи под замену участка водовода

Fig. 5. Excavation of the trench and the device under section culvert replacement



Рис. 6. Монтажные/демонтажные работы восстановления водовода в г. Харькове

Fig. 6. Installation / dismantling recovery conduit in Kharkiv

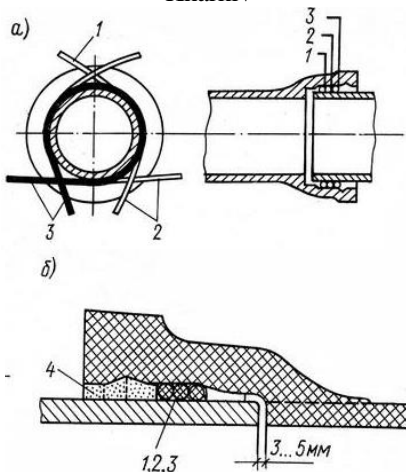


Рис. 7. Стыковое соединение «чугун-сталь»:

a – последовательность укладки пеньковых прядей;

б – готовый стык

1, 2, 3 – пеньковые пряди;

4 - свинцовый замок.

Fig. 7. The joint pressure iron tubes:

a - stacking sequence strands of hemp;

b - finished joint

1, 2, 3 - hemp strands; 4 - plumbum castle.

К переходам водопроводной линии под автомобильной дорогой и трамвайными путями выдвигаются дополнительные требования обеспечения надежности, так как разрыв или повреждение их может привести к созданию аварийной ситуации. Эти переходы осуществляют, как правило, в специальных кожухах (футлярах). Кожух перехода служит для предохранения рабочего трубопровода от нагрузок, возникающих от движения транспорта, и для защиты его от воздействия агрессивных грунтов и блуждающих токов [7]. Футляр выполняется из стальных или полиэтиленовых труб. Участок водовода по пр. Московскому, проходящий непосредственно под трамвайными путями, предусмотрено уложить в стальной кожух (рис.8).



Рис. 8. Монтаж водовода в кожух

Fig. 8. Installation water supply in housing

Вторым этапом реализации мероприятий по повышению надежности водоснабжения микрорайона г. Харькова является строительство перемычек (соединение водовода DN 900 по пр. Московскому с тупиковыми сетями водоснабжения по ул. Соича и ул. Кошкина). По ул. Кошкина через реконструируемую проезжую часть с трамвайными путями была уложена открытым способом водопроводная сеть PE100 DN 400 в полиэтиленовом кожухе (оребранные PE трубы кожуха соединяются друг с другом путем завинчивания) (рис. 9,10).



Рис.9. Труба PE100 DN 400 для строительства перемычки по ул. Кошкина

Fig. 9. Pipe for construction of the cofferdam by Koshkin str.



Рис. 10. Кожух трубы перемычки по ул. Кошкина
Fig. 10. Pipe cover jumper by Koshkin str.

Подготовка к началу работ по прокладке перемычки состоит из следующих операций:

- выполнение вертикальной планировки территории;
- выполнение геодезической разбивки трассы с закреплением на местности;
- обозначение (отшурфование) пересекаемых или находящихся в зоне работы действующих подземных (надземных) коммуникаций;
- доставка на строительную площадку песка, РЕ труб, отводов, бетонных упор (в комплекте с резиновыми уплотнительными кольцами) и т.д.;
- открытие траншеи (при необходимости выполнение крепления вертикальных стенок (рис. 11).



Рис. 11. Открытие траншеи для строительства водопроводной перемычки

Fig. 11. The opening of the trench for the construction of water jumpers

Земляные работы при прокладке сети из труб РЕ, крепление стенок траншей, водоотлив и водопонижение следует производить в соответствии с требованиями главы ДБН по отдельной технологической документации.

Монтаж трубопроводов осуществляется на дне траншеи. Опускание труб в траншею производится краном с помощью гибкого стропа [6] (рис. 11, 12).



Рис. 11. Монтажные работы сети по ул. Кошкина
Fig. 11. Pipe installation by Koshkin str.



Рис. 12. Монтаж РЕ водопроводной сети в кожух
Fig. 12. Installation of PE water supply in housing

Стыки свариваемых РЕ труб нагревают с помощью нагревательного инструмента с антипригарным покрытием на рабочих поверхностях, а также с помощью муфт с закладным нагревателем (рис. 13). После достижения требуемой температуры нагреваемый элемент извлекают из зоны соединения. Свариваемые трубы прижимают друг к другу, постепенно повышая давление прижима до установленного технологией значения. При этом давлении стык выдерживают определенное время, в течение которого происходит охлаждение шва [4].

Соединение перемычки со стальной трубой по ул. Кошкина производилось с помощью фланцевого соединения через буртовую втулку.

Обратная засыпка траншеи производится после предварительного испытания трубопровода. На рис. 14 представлена схема уплотнения грунта вокруг трубопровода при обратной засыпке траншеи.

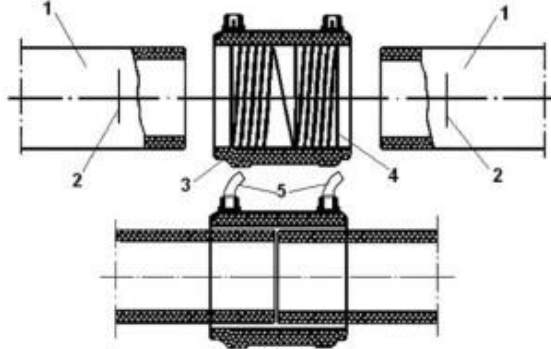


Рис. 13. Схема соединения труб муфтой с закладным нагревателем:

1 – труба; 2 – метка посадки муфты и механической обработки поверхности трубы; 3 – муфта; 4 – закладной нагреватель; 5 – токоподводящий (сварочный) кабель.

Fig. 13. The circuit connection pipe coupling with embedded heater:

1 - trumpet; 2 - label landing sleeve and the machining surface of the tube; 3 - mufta; 4 - mortgage heater; 5 - current-supplying (welding) cable.

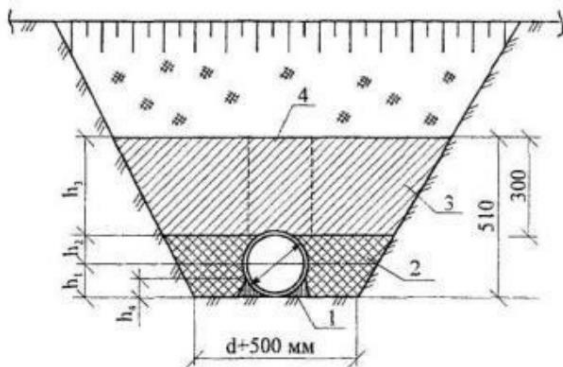


Рис. 14. Схема уплотнения грунта вокруг трубопровода при засыпке траншеи:

h_1, h_2 – $1/2$ диаметра трубы; h_3 – 300 мм;
 h_4 – 0,35 диаметра трубы;

Fig. 14. Driving compacting soil around the pipeline during backfilling:

h_1, h_2 - $1/2$ the diameter of the pipe; h_3 - 300 mm;
 h_4 - 0,35 diameter of the pipe;

Слои грунта в пазухах между стенками траншеи и трубопроводом уплотняются ручной механической трамбовкой типа ИЭ-4505 и др. Подбивка грунтом РЕ трубопровода (зона 1) производится на высоту h_4 ручным немеханизированным инструментом (штопкой и др.) Засыпка пазух траншеи в зонах 2 и 3 выполняется послойно толщиной 15 см. Засыпка выполняется одновременно с двух сторон трубы на высоту h_1, h_2, h_3 . Уплотнение защитного слоя производится ручными механизированными трамбовками ИЭ-4505, кроме участка над трубопроводом в зоне 4.

Котлованы под водопроводные колодцы разрабатывают одновременно с траншеями для укладки водопроводной сети (перемычки). Строительство колодцев производится в следующей последовательности:

- разработка котлована;
- подчистка дна котлована, проверка соответствия проекту отметок дна и крутизны откосов;
- обработка основания под колодцы дегтевыми или битумными материалами на глубину не менее 0,2 м с тщательным трамбованием;
- устройство бетонной подготовки;
- монтаж сборных железобетонных элементов колодца;
- затирка цементным раствором швов между элементами колодца;
- изоляции внутренней поверхности колодца битумом на высоту 1,0 м;
- засыпка колодца грунтом с тщательным трамбованием и устройством водоупорного замка на вводах труб;
- устройство бетонной отмостки вокруг горловины колодца шириной 1,5 м.

Третьим этапом реализации мероприятий по повышению надежности водоснабжения микрорайона является замена технически-изношенной запорно-регулирующей арматуры в колодцах в зоне реконструкции на современную марки HAWLE (рис. 15).



Рис. 15. Замена технически изношенной чугунной задвижки на задвижку с обрезиненным клином
Fig. 15. Replacing technically worn iron gate bolted with rubber-wedge

Особое внимание при строительстве и проведении восстановительных работ на сетях водоснабжения следует уделить соблюдению требований безопасности и охраны труда. При производстве

работ по прокладке водораспределительных сетей, связанных с размещением рабочих в траншее, необходимо учитывать следующие опасные и вредные производственные факторы, связанные с характером работы:

- обрушающиеся грунты;
- падающие предметы;
- движущиеся машины и их рабочие органы, а также передвигаемые ими предметы;
- расположение рабочего места вблизи перепада по высоте 1,3 м и более;
- повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- химически опасные и вредные производственные факторы.

Для предупреждения воздействия на работников опасных и вредных производственных факторов при укладке трубопроводов в зоне реконструкции пр. Московского обеспечивалось соблюдение следующих мероприятий по охране труда:

- соблюдение безопасной крутизны незакрепленных откосов траншей с учетом нагрузки от машин и грунта;
- выбор типов машин и средств механизации, применяемых при укладке труб, и мест их установки;
- дополнительные мероприятия по контролю и обеспечению устойчивости откосов в связи с сезонными изменениями;
- определение мест установки и типов ограждений котлованов и траншей, а также лестниц для спуска работников к месту работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко Д., Старкова О., Алейникова А. 2014. Разработка автоматизированной системы выбора способа восстановления водоводов с использованием аппарата нечеткой логики // Системи обробки інформації: Наук.-техн. зб. – Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба. – Вип. 8 (124). – 18-23.
2. Гончаренко Д., Алейникова А. 2013. Водопроводные сети г. Харькова и возможные пути повышения их эксплуатационной долговечности // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 15. – № 6. – 3-10.
3. Гончаренко Д., Вевеллер Х. 2008. Состояние трубопроводов водоснабжения и основные технологии их ремонта // Наук. вісн. будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – Вип. 49. – 37-42.

ВЫВОДЫ

В условиях ограниченного финансирования и экономии энергетических ресурсов вопросы поиска эффективных организационно-технологических решений вызывают интерес у эксплуатирующих предприятий водопроводного хозяйства Украины. Состояние водопроводных систем г. Харькова находится в состоянии высокого технического износа, о чем свидетельствует высокая интенсивность отказа надежности водораспределительных сетей.

В данной работе исследован комплекс мероприятий, направленных на повышение надежности функционирования системы водоснабжения г. Харькова путем проведения ремонтно-восстановительных работ на водопроводных сетях в районе реконструкции пр. Московского; проанализированы существующие материалы и средства механизации, применяемые при выполнении восстановительных работ на водораспределительных сетях; рассмотрены технологические особенности проведения работ и соблюдения техники безопасности и охраны труда

Организационно-технологические решения строительства и ремонта систем водоснабжения по пр. Московского в г. Харькове направлены, прежде всего, на обеспечение надежного функционирования централизованного водоснабжения и частичную оптимизацию (с учетом энергоэффективности в случае изменения зон влияния насосной станции № 29 и водовода DN 900 по пр. Московскому). В дальнейшем представляет интерес детально исследовать зоны влияния насосной станции № 29 для просчета эффективности выполненных работ и расчета срока окупаемости предложенных мероприятий.

4. Гончаренко Д., Вевеллер Х., Паболков В. 2010. О необходимости учета прочностных свойств полиэтиленовых труб в технологическом процессе ремонта сетей водоснабжения // Зб. наук. праць ПДАБА. – Днепропетровск: ПГАСА. – Вип. 52. – 113-119.
5. Гончаренко Д., Старкова О., Вевеллер Х., Алейникова А. 2010. К вопросу о состоянии сетей водоснабжения Харькова. // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. – К.: Техника. – Вип. 98. – 55-59.
6. Журба М., Соколов Л., Говоруха Ж. 2010. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т. 3. Системы распределения и подачи воды.– изд. 3-е, перераб. и доп.: Учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. – 408.
7. Герасименко А. 1987. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник в 2-х томах. – М.: Машиностроение.– Т.2.– 784.
8. Колотило М. та ін. 2004. Труби, фасонні деталі, арматура та обладнання систем зовнішнього во-

- доставляння і каналізації: Довідковий посібник. – Харків: Митець. – 253.
9. Махнев П., Юдин М. и др. 2003. Разработка программы реконструкции водопроводных сетей на основе моделирования процесса подачи и распределения воды // Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ). – Вып. 10. – 2–5.
 10. Орлов В. 1997. Эксплуатация, реконструкция и строительство водопроводных и водоотводящих сетей с учетом экологического фактора // Строительство и архитектура. – Вып. 2. – 33.
 11. Орлов В., Харькин В. 2001. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. – М.: Стройиздат. – 94.
 12. Петросов В. 2007. Устойчивость водоснабжения. – Харьков: Издательский дом «Фактор». – 357.
 13. Примин О. 2006. Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ). – Вып. 1, ч. 1. – 25–28.
 14. Храменков С. и др. 1998. Современные бестраншейные методы ремонта трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ). – Вып. 3. – 6–9.
 15. Храменков С. 2003. Принципы обеспечения надежности водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ). – Вып. 5, ч. 2. – 27–31.
 16. Храменков С., Примин О. 1998. Оценка надежности трубопроводов системы водоснабжения Москвы // Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ). – Вып. 7. – 6–9.
 17. Böhm A. 1993. Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung des Wasserrohnetzes Vulkan-Verlag Essen. – 92.
 18. Brussig P. 1994. Die Kanalisation Dresdens – Eine technische Meisterleistung unserer Urgroßväter // 3R international. – №9. – 505–508 und Wasserwirtschaft–Wassertechnik. – №2. – 33–36.
 19. Kiesselbach G. 2004. Sicherheit and Nutzungsdaner erdverlegter PE–Druckrohrleitung // Wasser–Abwasser. – №2. – 118–123.
 20. Ulbrich M. 2002. Trinkwasserrohrleitung aus Polyetylen // Wasser–Abwasser. – №5. – 413–420.
 21. Технологическая карта на прокладку наружных сетей водопровода [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.1alpha.ru/dokumentaciya/tehnologicheskaja_karta.pdf

ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL MEASURES IMPROVING THE RELIABILITY OF WATER SUPPLIES IN KHARKIV

Abstract. The complex of organizational and technological measures aimed at ensuring the reliable operation of the water supply system in the city of Kharkiv, presented the technological features of production rehabilitation works on water supply networks of the city.

Keywords: water system, water supply network, wear, reliability, recovery

ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ОСВЕТЛЯЮЩЕЙ ЦЕНТРИФУГИ И УСТАНОВКИ МЕМБРАННОЙ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ

Степан Эпоян, Андрей Карагяур, Светлана Бабенко, Анна Голубка

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40

E-mail: ykg.knuca@ukr.net

Аннотация. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса последовательного удаления из воды взвешенных веществ на осветляющей центрифуге с цилиндрическими вставками и установке мембранной ультрафильтрации. Показана перспективность применения центрифугирующих аппаратов в качестве устройств предочистки.

Ключевые слова: осветляющая центрифуга, мембранная ультрафильтрация, взвешенные вещества, рейтинг фильтрации

ВВЕДЕНИЕ

При разработке современного оборудования для подготовки питьевой воды основной тенденцией является стремление к высокой эффективности, энергоэкономности и компактности основных элементов. Этим требованиям во многом соответствуют устройства мембранной микро- и ультрафильтрации. В установках микрофильтрации (рейтинг фильтрации больше 0,1 мкм) задерживаются взвешенные вещества, планктон, частично бактерии. В установках ультрафильтрации (рейтинг фильтрации больше 0,005 мкм) – коллоидные вещества, бактерии, частично органоминеральные комплексы и вирусы.

Преимуществами установок микро-, ультрафильтрации над традиционными сооружениями являются значительно меньшие размеры, небольшой объем потребляемых химических реагентов, высокая степень автоматизации, простота монтажа, более простое обслуживание [19].

Факторами, ограничивающими применение микро-, ультрафильтрационных устройств, особенно для больших расходов воды, являются значительные эксплуатационные затраты. Эти затраты, связаны, прежде всего, с зависимостью основных параметров мембранных установок – производительности и потерь напора – от качества исходной воды. Даже при небольшом содержании взвешенных веществ в исходной воде резко растут потери напора в установке, и падает ее производительность. Это происходит вследствие образования на поверхности мембран слоя осадка и закупоривания пор. В результате возникает необходимость частых промывок мембранного фильтра. Расход промывной воды составляет 10% и выше от расхода фильтрата [20]. Борьба с образованием осадка приводит к усложнению конструкции и росту энергопотребления [15].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

В зависимости от режима течения жидкости в мембранном модуле существуют три основные схемы работы микро-, ультрафильтрационных установок: с поперечным потоком (cross-flow, проточные, с «тангенциальной» фильтрацией); с рециркуляцией и частичным сбросом концентрата (flood-and-bleed); с тупиковой фильтрацией (dead-end) [8]. В первых двух случаях часть воды циркулирует между входным и выходным отверстиями мембранного модуля, смывая с поверхности мембраны загрязнение. При тупиковой фильтрации весь поток очищаемой воды проходит через мембраны.

Основные недостатки первых двух схем: повышенные затраты на перекачивание жидкости, высокий объем сбрасываемой воды, усложнение конструкции (необходимость устройства рециркуляционного контура). Кроме того, если циркуляционный поток не очищается или очищается не полностью, происходит быстрый рост концентрации загрязнений в исходной воде и рост их содержания в теле мембранного модуля. Если циркуляционным потоком удаляются не все загрязнения с поверхности мембраны, то из-за повышенной концентрации происходит быстрый рост слоя осадка.

Кроме рециркуляции части расхода для повышения вероятности отрыва загрязнений от поверхности мембраны применяют различные устройства и методы для турбулизации потока: дисковые вставки, пульсирующая подача и т.д. [4, 9, 11, 15]. Данные методы также обладают описанными выше недостатками: усложнение устройства, повышенные затраты энергии, накопление загрязнений.

В схеме с тупиковой фильтрацией для удаления загрязнений с поверхности мембран используют частые обратные и прямые промывки. Прямая промывка служит для очистки напорного тракта мембранного модуля от взвешенных веществ. Эта промывка осуществляется путем кратковременного пропуска исходной воды с большой скоростью через

мембранный аппарат со сбросом концентрата. Такая схема получила широкое распространение, т.к. позволяет сократить расход воды на собственные нужды и уменьшить общее энергопотребление.

Процесс обработки воды в этом случае выглядит следующим образом: исходная вода в течение 15-60 мин. фильтруется через мембрану под давлением 1-4 атм., после чего следует обратная и прямая промывка. Для этого часть очищенной воды под давлением подается в фильтратный тракт в течение 20-60 с. Во время обратной промывки вода разрушает слой накопившихся загрязнений, а при прямой промывке они выносятся из тела мембранного аппарата.

Однако, тупиковый режим также имеет ряд серьезных недостатков, которые создают проблемы при работе водоочистных станций [20]: значительное падение производительности в течение фильтрационного цикла, необходимость в частых промывках, закупоривание пор мембраны мелкими частицами, зачастую создающее большее сопротивление, чем слой осадка на поверхности мембраны, и нередко неустраняемое промывкой. Во многих преобладание аппаратов с тупиковой фильтрацией обусловлено не объективной эффективностью, а коммерческими соображениями производителей, которые стремятся к минимизации их стоимости.

Эффект закупоривания пор мембраны мелкими частицами – процесс сложно контролируемый и трудно прогнозируемый. К таким частицам относятся мелкие глинистые частицы, коллоиды гидрооксида алюминия, крупные органические молекулы. Попытки бороться с этим явлением ведут к перерасходу воды на собственные нужды. Протекание стадии фильтрования с закупориванием пор зависит от соотношения между размером пор мембраны и распределением частиц в исходной воде по размерам, а также от концентрации взвешенных и коллоидных частиц в исходной воде. При применении ультрафильтрационных установок для доочистки после традиционных реагентных, отстойных и фильтровальных сооружений в результате закупорки пор мелкими частицами может происходить большее снижение производительности при низких концентрациях взвеси, чем при высоких. Причем в последнем случае очистка на мембранах осуществляется без предочистки и преимущественно с образованием слоя рыхлого осадка.

Одним из методов борьбы с загрязнением мембран является дозирование в исходную воду коагулянтов и флокулянтов [2, 3, 5, 7, 12, 14, 20]. Этот процесс называется «прямочная» коагуляция – введение коагулянтов в исходную воду и последующая фильтрация без стадии хлопьеобразования [1]. Этот прием применяется не только для повышения эффекта очистки воды от органических примесей, но и для связывания частиц взвеси малого размера, опасных для закупорки пор мембран [6, 13]. Однако, опыт эксплуатации установок микро-, ультрафильтрации показывает, что предварительная

коагуляция не всегда обеспечивает необходимый эффект. Причинами являются малое время нахождения воды в аппаратах, а также образование дополнительного количества осадка на мембранах за счет введения коагулянта. Наиболее простое решение по минимизации отрицательного эффекта закупоривания пор – применение мембран с меньшим размером пор. Однако, при этом падает начальная и, соответственно, средняя удельная производительность мембранных аппаратов, что делает их при существующей высокой стоимости экономически невыгодными.

Для снижения эксплуатационных затрат при очистке воды микро-, ультрафильтрацией, повышения экономической целесообразности применения данных методов на станциях водоподготовки средней и большой производительности необходимы эффективные, компактные устройства предочистки, работающие на принципах, отличных от процеживания через фильтрующую перегородку.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Повысить экономическую эффективность применения микро-, ультрафильтрации и адсорбции для очистки воды возможно с помощью центрифугирующих устройств. Осветляющие центрифуги с цилиндрическими вставками – это компактные устройства, которые обеспечивают высокий эффект предочистки за счет значительных центробежных сил, создаваемых в устройстве.

Таким образом, целью исследований является обоснование эффективности применения осветляющих центрифуг в качестве устройств предочистки.

Для этого необходимо:

- разработать математическую модель последовательной очистки от взвешенных веществ в осветляющей центрифуге и микро-, ультрафильтрационной мембранной установке с учетом изменения во времени качества воды после предочистки, а также влияния насосной установки;
- провести экспериментальные исследования для проверки достоверности математической модели;
- с помощью численных исследований изучить влияние параметров осадка, характеристик устройств предочистки, исходной мутности на эффективность процесса осветления.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Задачей математического моделирования процесса фильтрования суспензии через пористую перегородку является определение закономерности изменения во времени скорости фильтрования в результате роста потерь напора. На этот процесс влияют разность давлений, которая поддерживается в мембранном устройстве, количественный и качественный состав примесей в воде, поступающей на

доочистку микро-, ультрафильтрацией, фильтрационные характеристики мембранной перегородки. К данным характеристикам относятся рейтинг фильтрации (размер пор или отверстий в перегородке), пористость, толщина и материал перегородки.

От перечисленных факторов зависит рациональное значение степени предочистки. Под рациональным значением понимается такая величина, при которой суммарные эксплуатационные затраты будут минимальны. Значительную часть данных затрат составляет стоимость энергии на раскручивание жидкости (при предочистке в центрифугирующих устройствах) или ее продавливание через слой осадка и перегородку (при доочистке в устройствах мембранной фильтрации). Поэтому предочистку осаждением и доочистку микро-, ультрафильтрацией необходимо моделировать как один процесс.

Рост потерь напора при задержании взвеси на мембранных микро-, ультрафильтрационных элементах может происходить в результате [15, 17]:

- закупоривания каждой поры одной частицей (полным закупориванием пор);
- постепенного закупоривания одной поры несколькими частицами (фильтрование с образованием осадка внутри пор перегородки);
- фильтрования промежуточного типа;
- образования слоя осадка на поверхности мембраны.

Последний процесс может происходить с образованием сжимаемого осадка. Сжимаемыми называются осадки, пористость которых уменьшается, а сопротивление потоку жидкости возрастает при увеличении разности давления в процессе фильтрования. Кроме того, сама перегородка также может сжиматься под действием разности давлений.

Для математического описания процесса микро-, ультрафильтрации через мембранную перегородку примем следующие допущения:

- 1) Исключим из рассмотрения первый вид фильтрования. Фильтрование с полным закупориванием пор встречается редко и проявляется недостаточно четко [17]. При этом интенсивность возрастания сопротивления по мере увеличения количества фильтрата наиболее высока и пропорциональна квадрату сопротивления. Актуальность предочистки в этом случае повышается.
- 2) Примем, что мембранная перегородка является несжимаемой. В современных аппаратах микро-, ультрафильтрации используют или рулонные мембранные элементы, или половолоконные. В рулонных элементах предусмотрены поддерживающие материалы – сетки, половолоконные имеют небольшой диаметр и относительно достаточную для предотвращения сжимаемости толщину стенки.
- 3) Влияние загрязнений, которые не удаляются обычной промывкой, учтем, несколько повысив сопротивление фильтрующей перегородки. В основном к подобным загрязнениям относятся те, что накапливаются в порах мембраны, поэтому

необходимо снизить начальную пористость. Если рассматривать одну установку, то данные загрязнения, накапливаясь, постепенно снижают среднюю производительность устройства. Необходимо рассматривать изменение начальной пористости мембраны, как функцию времени. Такую зависимость можно определить только эмпирически, причем это нужно делать для каждого типа очищаемой воды. Однако, обычно работает несколько установок, и обработку химическими реагентами, с помощью которой удаляют загрязнения, невымываемые простой промывкой, проводят последовательно, приблизительно через равные промежутки времени. Это нивелирует снижение общей производительности между химическими обработками, что дает возможность применить данное допущение.

- 4) Примем, что при реализации 2-го вида фильтрования частицы примесей равномерно распределены по толщине мембранной перегородки. Расчет неравномерного распределения осадка возможно выполнить с помощью уравнения переноса концентрации вещества потоком фильтрующей жидкости. Для описания процессов прилипания и отрыва частиц примесей необходимо знать кинетические коэффициенты. Определение этих коэффициентов возможно только эмпирически. Однако, организовать фильтрование 2-го вида через мембранную перегородку в чистом виде чрезвычайно сложно.
- 5) Примем, что на поверхности фильтрующей перегородки образуется слой осадка, состоящий из частиц, размер которых больше или равен рейтингу фильтрации. При фильтровании через этот слой в его порах не будут задерживаться более мелкие частицы. Учет данного явления связан с аналогичными затруднениями, которые описаны в предыдущем пункте.

С учетом принятых допущений будем рассматривать фильтрование через пористую несжимаемую мембранную перегородку с образованием слоя сжимаемого осадка и с постепенным закупориванием пор.

Уравнение фильтрации, записанное для данных условий, имеет вид [17]:

$$\frac{1}{S} \frac{dW(t)}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu(R_{oc} + R_{ф.п.})}, \quad (1)$$

где: $W(t)$ – объем очищенной воды, m^3 ; S – площадь поверхности фильтрации, m^2 ; Δp – разность давлений, Pa ; μ – динамическая вязкость, $Pa \cdot c$; R_{oc} – сопротивление слоя осадка m^{-1} ; $R_{ф.п.}$ – сопротивление фильтрующей перегородки, m^{-1} .

Сопротивление слоя осадка R_{oc} считается пропорциональным толщине слоя:

$$R_{oc} = h_{oc} \gamma_{oc} (\Delta p_{oc}) = \frac{W(t) E_{oc}(d_p) C_1(t)}{S \rho_{oc}} \gamma_{oc} (\Delta p_{oc}), \quad (2)$$

где: $E_{oc}(d_p)$ – доля задержанных в слое осадка взвешенных и коллоидных веществ; $C_1(t)$ – концентрация взвешенных и коллоидных веществ в воде, по-

ступающей на доочистку, кг/м^3 ; $\rho_{\text{ос}}$ – плотность осадка, кг/м^3 ; $r_{\text{ос}}(\Delta p_{\text{ос}})$ – удельное сопротивление осадка, м^{-2} ; $\Delta p_{\text{ос}}$ – потери давления в слое осадка, Па; d_p – рейтинг фильтрации, мкм; $h_{\text{ос}}$ – толщина слоя осадка, м.

В результате уменьшения скорости фильтрации на мембранных установках при их совместной работе с осветляющими центрифугами возможны следующие режимы:

- при уменьшающейся синхронно с модулями микро-, ультрафильтрации производительности осветляющих центрифуг за счет уменьшения частоты вращения и отключения некоторых блоков обеспечивается постоянная степень предочистки $C_1(t) = \text{const}$;
- при постоянной частоте вращения при уменьшающейся производительности обеспечивается лучшее качество предочистки ($C_1(t_1) > C_1(t_2) > C_1(t_3)$, при $t_1 < t_2 < t_3$).

Производительность мембранных установок в течение фильтроцикла изменяется в разы, регулировать частоту вращения центрифугирующего устройства с помощью преобразователей частоты тока в таком широком диапазоне является энергетически нецелесообразным, а зачастую технически невозможным. Таким образом, с технологической точки зрения более приемлемым является второй вариант или комбинированный, поэтому, исходя из перечисленных обстоятельств, концентрация примесей в воде, поступающей на доочистку, принята зависящей от времени.

Зависимость удельного сопротивления осадка от давления представим в виде:

$$r_{\text{ос}} = r'_{\text{ос}}(\Delta p_{\text{ос}})^m, \quad (3)$$

где: $r'_{\text{ос}}$ – удельное сопротивление осадка при отсутствии сжатия, м^{-2} ; m – показатель степени.

Запишем уравнение (1) в виде:

$$v_{\text{ф}} \mu R_{\text{ос}} + v_{\text{ф}} \mu R_{\text{ф.п.}} = \Delta p_{\text{ос}} + \Delta p_{\text{ф.п.}}, \quad (4)$$

где: $v_{\text{ф}} = \frac{1}{S} \frac{dW(t)}{dt}$ – скорость фильтрации, м/с; $\Delta p_{\text{ф.п.}}$

– потери давления в фильтрующей перегородке, Па.

Из уравнения (4) можем записать, что:

$$\Delta p_{\text{ос}} = v_{\text{ф}} \mu R_{\text{ос}}. \quad (5)$$

С учетом зависимостей (3) и (5) выражение (2) примет вид:

$$R_{\text{ос}} = \left(\frac{W(t)}{S} \cdot \frac{E_{\text{ос}}(d_p) \cdot C_1(t)}{\rho_{\text{ос}}} \cdot r'_{\text{ос}} \left(\frac{\mu}{S} \frac{dW(t)}{dt} \right)^m \right)^{\frac{1}{1-m}}. \quad (6)$$

Удельное сопротивление осадка $r'_{\text{ос}}$ можно оценить с помощью уравнения Козени-Кармана [17]:

$$r'_{\text{ос}} = k_1 \cdot S_0^2 \cdot \frac{(1 - n_{\text{ос}})^2}{n_{\text{ос}}^3}, \quad (7)$$

где: $n_{\text{ос}}$ – пористость осадка при отсутствии сжатия; S_0 – удельная поверхность твердых частиц осадка, м^{-1} ; k_1 – отношение длины пор к толщине слоя осадка.

Для определения сопротивления фильтрующей перегородки представим величину $R_{\text{ф.п.}}$ по аналогии с $R_{\text{ос}}$ в виде:

$$R_{\text{ф.п.}} = h_{\text{ф.п.}} \cdot r_{\text{ф.п.}}, \quad (8)$$

где: $h_{\text{ф.п.}}$ – толщина фильтрующей перегородки, м; $r_{\text{ф.п.}}$ – удельное сопротивление фильтрующей перегородки, м^{-2} .

Аналогично зависимости (7) для фильтрующей перегородки можем записать:

$$r_{\text{ф.п.}} = k_1 \cdot S_0^2 \cdot \frac{(1 - n_{\text{ф.п.}})^2}{n_{\text{ф.п.}}^3}, \quad (9)$$

где: $n_{\text{ф.п.}} = f(t)$ – пористость фильтрующей перегородки.

Рост сопротивления фильтрующей перегородки в процессе фильтрования через нее суспензии обусловлен накоплением в ее порах осадка и уменьшением по этой причине пористости $n_{\text{ф.п.}}$. С учетом этого по аналогии с фильтрованием через зернистую загрузку [16] можем записать:

$$n_{\text{ф.п.}} = n_{0 \text{ ф.п.}} - \frac{C_{\text{ос}}^{\text{ф.п.}}(t)}{\gamma}, \quad (10)$$

где: $n_{0 \text{ ф.п.}}$ – начальная пористость фильтрующей перегородки; $C_{\text{ос}}^{\text{ф.п.}}(t)$ – концентрация осадка в порах фильтрующей перегородки, кг/м^3 ; γ – весовая концентрация твердых частиц в единице объема осадка, кг/м^3 .

С учетом количества задержанных примесей в слое осадка $E_{\text{ос}}(d_p) \cdot C_1(t) \cdot W(t)$ величина $C_{\text{ос}}^{\text{ф.п.}}(t)$ равняется:

$$C_{\text{ос}}^{\text{ф.п.}}(t) = (C_1(t) - E_{\text{ос}}(d_p) C_1(t) - C_{\text{ф}}) \frac{W(t)}{h_{\text{ф.п.}} S} \quad \text{или}$$

$$C_{\text{ос}}^{\text{ф.п.}}(t) = C_1(t) \left(E - E_{\text{ос}}(d_p) \right) \frac{W(t)}{h_{\text{ф.п.}} S}, \quad (11)$$

где: $C_{\text{ф}}$ – концентрация взвешенных и коллоидных веществ в фильтрате; $E = 1 - \frac{C_{\text{ф}}}{C_1}$ – доля всех частиц,

которые задерживаются на мембране.

Пористость незаколотированной фильтрующей перегородки $n_{0 \text{ ф.п.}}$ можно определить из зависимости, предоставляемой производителем устройств микро-, ультрафильтрации (обычно в виде графиков):

$$\Delta p_{\text{ф.п.}} = f(d_p, Q), \quad (12)$$

где: Q – расход чистой воды, $\text{м}^3/\text{с}$.

При отсутствии такой информации вид зависимости (12) можно определить экспериментально, пропуская через установку микро-, ультрафильтрации дистиллированную воду.

Таким образом, уравнения (1), (6)-(12) составляют основу математической модели фильтрования суспензии через пористую несжимаемую мембранную перегородку с образованием слоя сжимаемого осадка и с постепенным закупориванием пор.

В данной модели принято, что перепад давления Δp представляет собой постоянную во времени величину. Однако, микро-, ультрафильтрационная установка работает совместно с насосом, у которого зависимость давления (напора) от производительности обычно имеет нелинейный характер.

Для учета работы насосной установки математическую модель микро-, ультрафильтрации суспензии через мембранную перегородку необходимо дополнить уравнением, описывающим зависимость давления (напора) насоса от производительности [21]. Стабильная H-Q характеристика центробежного насоса, которая представлена графически в его паспорте, описывается выражением вида:

$$H(t) = a - b \cdot Q(t)^2, \quad (13)$$

где: $H(t) = \rho g p(t)$ – напор, м; $Q = \frac{dW}{dt}$ – подача, м³/с;

a и b – эмпирические коэффициенты.

Для проверки достоверности разработанной математической модели были проведены экспериментальные исследования [10]. Результаты сопоставления расчетных и опытных данных представлены на рис. 1.

При очистке природной воды от взвешенных и коллоидных веществ микро-, ультрафильтрацией характеристиками, описывающими эффективность процесса являются объем воды, профильтровавшейся за некоторое время, а также затраты энергии на продавливание воды через мембрану и слой осадка. Если осуществляется предочистка на осветляющих центрифугах, то к данным характеристикам добавляются затраты энергии, необходимые для раскручивания воды и преодоление сил трения, а также количество загрязнений, задержанных в центрифуге

[18]. Исходя из этого, в качестве критериев, описывающих работу установки, включающую осветляющую центрифугу и устройство микро-, ультрафильтрации, примем следующие параметры:

- 1) отношение производительности устройства в момент времени T к начальной производительности $\frac{Q_T}{Q_0}$,
- 2) количество воды, профильтровавшейся через мембрану за время T: $\mathcal{E}_V = \frac{V_T}{S} R_{\phi.n.0} \cdot 10^{-8}$,

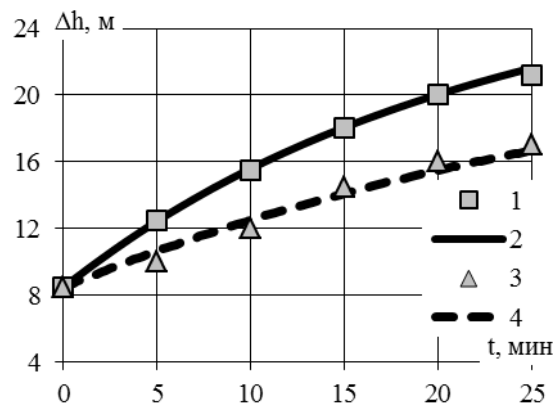
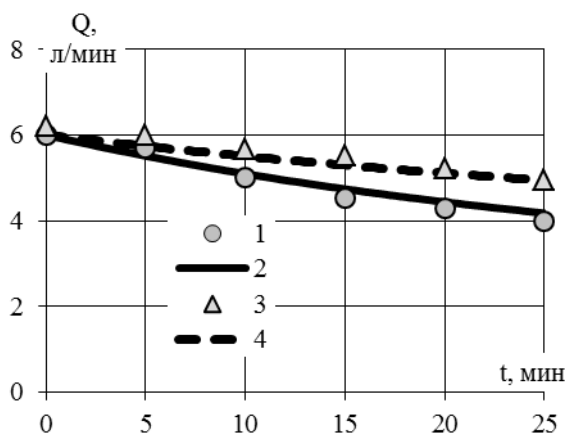
где: V_T – объем воды, профильтровавшейся за время T, м³; $R_{\phi.n.0}$ – сопротивление фильтрующей перегородки (мембраны) в начальный момент времени, м⁻¹;

- 3) удельная средняя мощность, затрачиваемая на очистку объема воды V_T за время T, рассчитанная из условия одинаковой средней производительности:

$$\sum N_{yo} = (N_{yo}^u + N_{yo}^m) \frac{\bar{Q}_T}{Q},$$

где: $N_{уд}^u = \frac{N^u}{Q}$ – удельная мощность центрифугирующего устройства, Вт/(л/с); N^u – мощность осветляющей центрифуги, Вт; $N_{уд}^m$ – удельная мощность мембранного устройства, Вт/(л/с):

$$N_{yo}^m = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta p(t) Q(t) dt}{\bar{Q}},$$



1 – опытные данные без предочистки; 2 – опытные данные с предочисткой; 3 – расчетные данные без предочистки; 4 – расчетные данные с предочисткой

Рис. 1. Пример сопоставления расчетных и опытных значений динамики производительности (Q) и потерь напора (Δh) в ультрафильтрационной установке

Fig. 1. An example of comparison of the calculated and experimental values of productivity (Q) and head losses dynamics (Δh) in ultrafiltration plant

\bar{Q}_T – средняя производительность устройства микро-, ультрафильтрации, соответствующая влияющим параметрам, при которых определялось время T , л/с; \bar{Q} – средняя производительность установки при данных параметрах, л/с.

Время T принято одинаковым для всех рассматриваемых случаев. С помощью математической

модели были проведены вычисления и изучено влияние числа Фруда и степени сжимаемости осадка на эффективность работы установки, состоящей из осветляющей центрифуги и устройства микро-, ультрафильтрации (рис. 2-4).

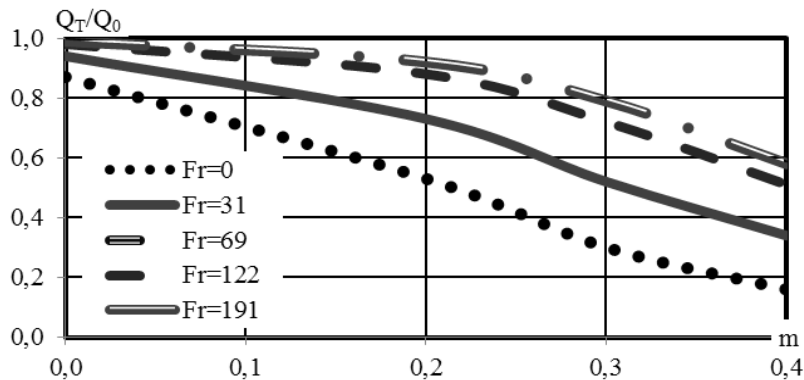


Рис. 2. Влияние показателя степени сжимаемости осадка на производительность установки

Fig. 2. The influence of parameter m on plant productivity

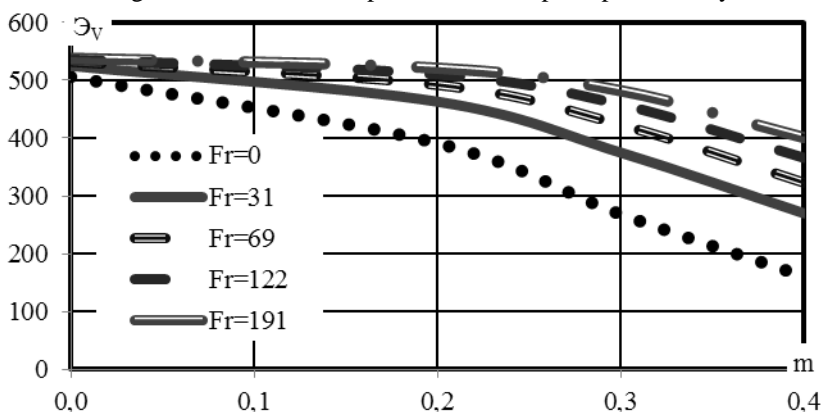


Рис. 3. Влияние показателя степени сжимаемости осадка на объем профильтрованной воды

Fig. 3. The influence of parameter m on the volume of filtered water

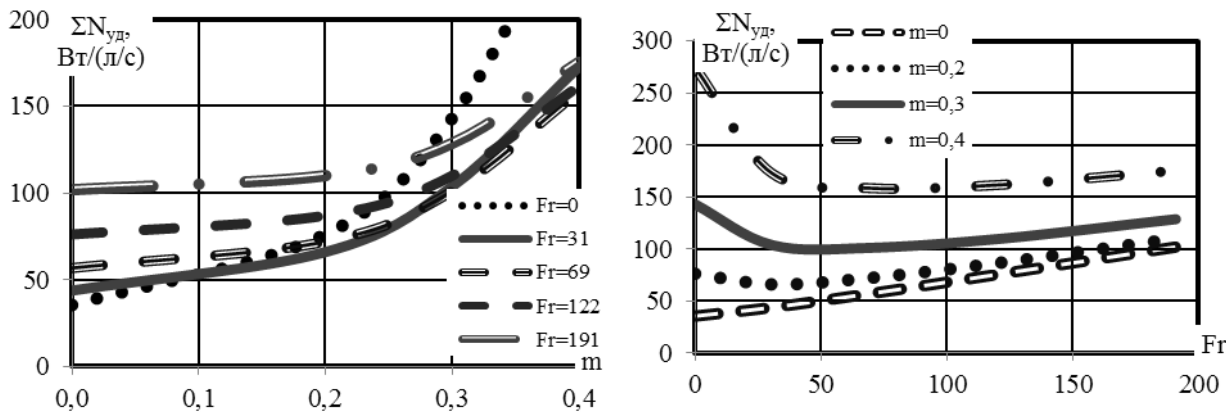


Рис. 4. Влияние показателя степени сжимаемости осадка и числа Фруда на удельную мощность

Fig. 4. The influence of parameters m and Fr on power density

При осуществлении предочистки резко замедляется падение производительности установки

(рис. 2) и увеличивается объем профильтрованной воды (рис. 3). При превышении числа Фруда экс-

тремального значения рост объема профильтрованной воды замедляется, дальнейшая интенсификация предочистки является нецелесообразной. С увеличением показателя степени сжимаемости осадка необходимая удельная мощность резко возрастает. При применении предочистки кривая, описывающая зависимость $\Sigma N_{уд} = f(m)$, сглаживается. При увеличении степени сжимаемости осадка минимальный экстремум зависимости $\Sigma N_{уд} = f(Fr)$ становится более ярко выраженным и реализуется при больших значениях числа Фруда.

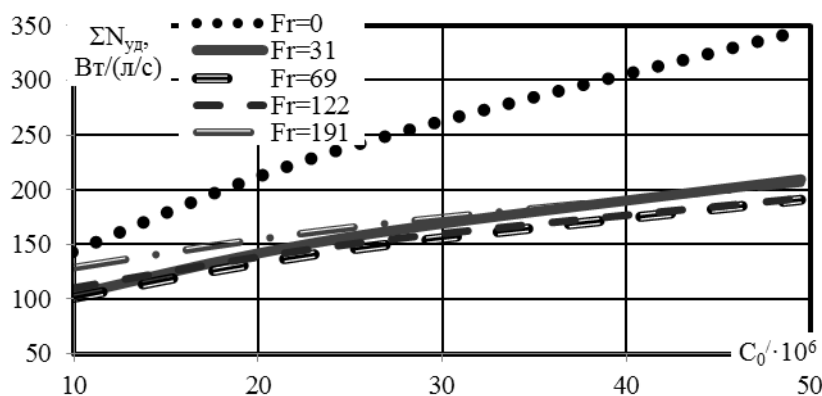


Рис. 5. Влияние начальной концентрации взвешенных веществ на удельную мощность

Fig. 5. The influence of the initial concentration of suspended solids on the power density

ВЫВОДЫ

Проведенные теоретические исследования позволяют сформулировать следующие рекомендации. Степень предочистки в осветляющей центрифуге должна соответствовать минимальному значению суммарной удельной мощности. Если сжимаемость осадка имеет небольшую величину то лучше применять мембраны с высоким рейтингом филь-

На рис. 5 представлены примеры расчета зависимости параметра $\Sigma N_{уд}$ от концентрации взвешенных веществ в исходной воде $C_0' = \frac{C_0}{\rho_{ос}}$. Предочистка способствует уменьшению удельной мощности установки, с ростом исходной концентрации загрязнений увеличение удельной мощности при наличии предочистки происходит более плавно (рис. 5).

трации из материала с низкой адгезионной способностью, позволяющего минимизировать накопление загрязнений в ее порах. Компенсировать рост исходной концентрации загрязнений, а также сжимаемость осадка, что резко увеличивает сопротивление мембраны, целесообразнее повышением качества предочистки. Эффективность работы осветляющей центрифуги менее зависит от данных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aoustin E., Schäfer A., Fane A., Waite T., 2001. Ultrafiltration of natural organic matter // Separation and Purification Technology. – Vol. 22-23. – 63-78.
2. Barbot E., Moustier S., Bottero J., Moulin P., 2008. Coagulation and ultrafiltration: understanding of the key parameters of the hybrid process // Journal of Membrane Science. – Vol. 325. – 520-527.
3. Guigui C., Rouch J., Durand-Bourlier L. and others, 2002. Impact of coagulation conditions on the in-line coagulation/UF process for drinking water production // Desalination. – Vol. 147. – 95-100.
4. Hadzismajlovic D., Bertram C., 1999. Flux enhancement in turbulent crossflow microfiltration of yeast using a collapsible-tube pulsation generator // J. Membr. Sci. – Vol. 163, № 1. – 123-134.
5. Konieczny K., Szałol D., Płonka J. and others, 2009. Coagulation-ultrafiltration system for river water treatment // Desalination. – Vol. 240. – 151-159.
6. Labecki M., Piret J., Bowen B., 1995. Two-dimensional analysis of fluid flow in hollow-fibre modules // Chem. Eng. Sci. – Vol. 50, № 21. – 3369.
7. Mo L., Huang X., 2003. Fouling characteristics and cleaning strategies in a coagulation-microfiltration combination process for water purification // Desalination. – Vol. 159. – 1-9.
8. Mulder J., 2007. Basic Principles of Membrane Technology. – [2-nd Ed.]. – Springer. – 564.
9. Najarian S., Bellhouse B., 1996. Enhanced microfiltration of bovine blood using a tubular membrane with a screw-threaded insert and oscillatory flow // J. Membr. Sci. – Vol. 112, № 2. – 249-261.
10. Stepan Epoyan, Andrey Karagiaur, Svetlana Babenko, 2012. Researching the work of membrane ultrafiltration module / MOTROL // Motoryzacja i

- energetika rolnictwa. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 14, № 5. – 53-56.
11. Vera L., Villarroel R., Delgado S., Elmaleh S., 2000. Enhancing microfiltration through an inorganic tubular membrane by gas sparging // *J. Membr. Sci.* – Vol. 165, № 1. – 47–57.
 12. Xia S., Li X., Zhang Q. and others, 2007. Ultrafiltration of surface water with coagulation pretreatment by streaming current control // *Desalination.* – Vol. 204. – 351-358.
 13. Yuan W., Kocic A., Zydney A., 2002. Analysis of humid acid fouling during microfiltration using a pore blockage-cake filtration model // *J. Membrane Science.* – Vol. 198. – 51-62.
 14. Zularisam A., Ismail A., Salim M. and others, 2009. Application of coagulation–ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment: optimization of operating conditions using experimental design // *Separation and Purification Technology.* – Vol. 65. – 193-210.
 15. Андрианов А., Первов А., 2003. Методика определения параметров эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки природных вод // *Критические технологии. Мембраны.* – № 2 (18). – 3-22.
 16. Грабовский П., Гуринчик Н., 2007. Математическая модель фильтрования воды через зернистый слой с убывающей скоростью // *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб.* – К.: Техніка., – Вып. 74. – 230–237. – (Серия „Технические науки и архитектура”).
 17. Жужиков В., 1980. Фильтрование. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Химия. – 400.
 18. Карагяур А., 2013. Предочистка воды перед установками с тупиковой схемой ультрафильтрации // *Сучасні проблеми охорони довкілля та раціонального використання ресурсів у водному господарстві: матер. практи. конф., 22-26 квітня 2013 р., м. Миргород.* – К.: Т-во «Знання» України. – 49-51.
 19. Парилова О., 2012. Ультрафільтрація в порівнянні з традиційною технологією предочистки. *Водоочистка.* – № 9. – 27-30.
 20. Первов А., Дудкин Е., Мотовилова Н., Андрианов А., 2001. Ультрафільтрація – технологія майбутнього // *Водоснабження і санітарна техніка.* – №9. – 9-12.
 21. Эпоян С., Карагяур А., Сташук В., Чунарев А., 2013. Особенности подбора насосов для ультрафильтрационных мембранных установок // *Науковий вісник будівництва.* – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – Вип. 71. – 403-409.

RESEARCHING THE COOPERATION WORK OF CLARIFYING CENTRIFUGE AND ULTRAFILTRATION MEMBRANE PLANT

Abstract. The results of theoretical and experimental studies of the process of successive removal of suspended solids in the water at clarifying centrifuge with cylindrical inserts and ultrafiltration membrane plant are presented. Perspective of the centrifuged apparatus as pretreatment devices application is shown.

Keywords: clarifying centrifuge, membrane ultrafiltration, suspended solids, filtration rating.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕВИТАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Владимир Савйовский¹, Андрей Броневицкий², Елена Каржинерова³

¹ Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40 E-mail: savyovsky@ukr.net

² ООО «Итнерстрой-АС» Украина, г. Киев, бульвар Леси Украинки, 21, к. 21 E-mail: andreyy-bron@rambler.ru

³ Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40 E-mail: karzhyneroва@gmail.com

Аннотация: Представлены результаты исследований особенностей выполнения строительных работ в условиях реконструкции промышленных зданий. Приведено понятие термина «ревитализации» промышленных зданий. Представлен характерный перечень ремонтно-восстановительных работ, которые выполняются при ревитализации на примере отдельных отечественных и европейских объектов. Выявлена группа так называемых «дестабилизирующих» факторов, которые негативно влияют на технико-экономические показатели выполнения строительных работ. Установлены зависимости влияния факторов на эффективность строительных работ и указаны направления их учета при прогнозировании трудоемкости, продолжительности и стоимости ревитализации.

Ключевые слова: ревитализация зданий, особенности ревитализации, эффективность строительных работ

ВВЕДЕНИЕ

В современной практике строительства широко распространение находит процесс реконструкции промышленных зданий и сооружений под объекты гражданского назначения. Это стало следствием урбанизации городов, что приводит к расширению границ крупных городов за счет нового строительства. Из-за застройки, расположенные когда-то на окраинах городов, промышленные здания постепенно оказались в густонаселенных районах. Такое расположение стало ограничивать их функциональную пригодность. Это связано с экологическими, санитарными условиями, социальными требованиями. Что делать с такими зданиями? Сейчас наметились несколько основных путей приспособления промышленных зданий под требования современности:

- модернизация технологического оборудования с введением повышенных санитарно-экологических требований;
- снос существующих промышленных зданий и застройка свободных участков гражданскими объектами;
- реконструкция промышленных зданий под гражданские объекты культуры, торговли, досуга и тому подобное.

Последний вариант, как показывает отечественная и мировая практика, является одним из наиболее приемлемых.

Понятие реконструкции промышленных зданий под гражданские объекты сегодня в научно-практической деятельности принято называть термином «ревитализация» [1, 2]. Ревитализация (от лат. Re - восстанавливающая действие, vita - жизнь, как «возрождение к жизни») - процесс возрождения, восстановления и оживления городского пространства. Этот процесс предусматривает сохранение самобытности и подлинности исторических зданий и город-

ской среды вообще, с изменением их функционального назначения для гражданских потребностей общества. Основной задачей ревитализации является социализация пространства, создание элементов инфраструктуры, способствует развитию туризма, отдыха, спорта, улучшению экологии и как следствие направлена на привлечение инвестиций.

При ревитализации выполняется комплекс работ, который предусматривает сохранение архитектурно облика зданий с созданием внутреннего наполнения и интерьеров и инженерно-технологического оборудования, в соответствии с современными нормами и требованиями. В случае реконструкции архитектурных или исторических памятников они, как правило, полностью сохраняют свою внешнюю аутентичность и выразительность.

Экономическим следствием указанного процесса является возможность привлечения инвестиций, создания рабочих мест и тому подобное. Техническое состояние основных вертикальных и горизонтальных несущих строительных конструкций обеспечивает их достаточную несущую способность для эксплуатации в условиях нового назначения. Это связано с тем, что расчетные нагрузки на конструкции промышленных зданий в разы больше чем для гражданских объектов. Поэтому при ревитализации промышленных зданий под гражданские объекты, как правило выполняются работы по отделке и устройства защитных покрытий. Отсутствие существенных объемов капитальных работ позволяет сократить период от начала проведения реконструкции к пуску объекта в эксплуатацию с обновленным функциональным назначением.

С точки зрения бизнеса ревитализация промышленных зданий является эффективным инструментом управления недвижимостью и

позволяет найти эффективные способы монетизации бывших промышленных предприятий.

Процесс выполнения строительных работ сопряжен с целым рядом специфических особенностей. Эти особенности отражают индивидуальные архитектурно-конструктивные решения зданий, подлежащих реконструкции, техническое состояние их строительных конструкций, характер прилегающей застройки [3, 4, 5, 6]. К числу наиболее общих особенностей следует также отнести наличие примыкающих инженерных сооружений, подземных и наземных инженерных коммуникаций. Указанные особенности приводят к ограничению использования производственной техники, ограничению рациональной организации строительной площадки, необходимости в выносе инженерных сетей и прочее, что в итоге приводит к увеличению затрат трудовых и материально-технических ресурсов реконструкции. Выявление и учет указанных особенностей реконструкции на стадии подготовки производства строительных работ, позволит объективно оценить предстоящие затраты и выработать эффективные организационно-технологические решения выполнения строительных работ.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МЕТОДОВ

В зарубежной и отечественной практике есть много примеров, которые наглядно демонстрируют специфику строительных работ в условиях ревитализации промышленных зданий.

Только в Киеве сейчас более 30% площадей города занимают участки промышленного назначения [1, 7, 8]. На указанных площадках расположен ряд крупных предприятий. 40 % предприятий города пока не работает. Эти предприятия существуют за счет сдачи в аренду зданий под складские или административные помещения. Их будущее это снос или ревитализация. Безусловно, в Украине тоже частично наработан опыт ревитализации этих зданий. Это позволило украсить город, улучшить социальную инфраструктуру и экологию. Например, в городе Киеве выполнена реконструкция зданий завода «Арсенал» под художественно-выставочный комплекс, зданий завода «Большевик» под торгово-развлекательный центр и многие другие. В городе Харькове также наработан огромный опыт по ревитализации ряда промышленных зданий [9]. Такими примерами являются реконструкция здания обувной фабрики под торговый центр. В результате реконструкции части зданий электромеханического завода, жители города получили несколько торговых центров, фитнес-центр, другие объекты. Похожую картину можно наблюдать во многих других городах страны. Работы по ревитализации промышленных зданий распространены во многих западных странах [2, 8, 10, 11].

Эффективное проведение ревитализации таких объектов требует взвешенной инженерной подготовки, которая бы обеспечила рациональное выполнение ремонтно-строительных работ, а также возможность предварительно оценить их экономическую целесообразность. В связи с этим исследование параметров эффективности этих работ, является важной научно-прикладной задачей.

Указанные выше, особенности ревитализации приводят к необходимости выполнения дополнительных видов работ и принятию, не всегда, рациональных организационно-технологических решений строительства. В основном это работы сопряженные со сносом сооружений, переносом инженерных коммуникаций, обеспечению безопасности работ и создание мероприятий по охране окружающей среды и другие мероприятия. Особенности выполнения работ по ревитализации уделено внимание в научно-технической литературе. Однако освещения процессов ревитализации в большей степени отражает архитектурные и градостроительные тенденции этих процессов. Вопросы технологии и организации работ освещены недостаточно.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В качестве успешного проекта ревитализации - является реконструкция производственного здания завода «Арсенал» в городе Киеве [7]. Здание предприятия начало строиться еще в 1784 году. В последующие годы здание эксплуатировалось по своему функциональному назначению. В 2006 году, после частичной остановки производственной деятельности в данном здании, началась его реконструкция. В результате проведения работ с заводского, здание превратилась в гражданское, а именно в художественную галерею, где проводятся различные художественные акции. Сегодня так называемый "Мыстецкий Арсенал" - масштабный культурологический проект национального и международного значения, целью которого является создание квартала культуры в историческом центре Киева, рис.1. Общая площадь Национального культурно-художественного и музейного комплекса - 9,8 га. Экспозиционная площадь здания Старого Арсенала составляет 56 тыс. кв. м. В процессе реконструкции выполнен комплекс ремонтно-восстановительных работ, частичное усиление фундаментов, усиление и частичная замена конструкций покрытия, замена кровли. Выполнено устройство полов и теплоизоляция наружных ограждающих конструкций, замена заполнения оконных и дверных проемов, отделка. Инженерные сети и коммуникации были заменены новыми, современными.

Другой пример, реконструкция производственных зданий завода «Большевик» в г. Кие-

ве. Здания чугунолитейного и механического завода были построены в 1764 году. В 2007 году был выполнен комплекс работ по ревитализации предприятия. После проведения работ помещения заводских корпусов превратили в торгово-развлекательный комплекс, рис.2. На четырех этажах здания расположены кинотеатр, каток, сотни магазинов, рестораны и художественная галерея. В процессе ревитализации выполнен комплекс ремонтно-восстановительных работ, включающий: частичный ремонт стен; замену конструкций покрытия; устройство теплоизоляции наружных ограждающих конструкций; замену оконных и дверных блоков; замену конструкций полов; отделочные работы; специальные работы по устройству современных систем энергоснабжения, вентиляции, отопления; благоустройство прилегающей территории.

Ревитализации подлежат здания, как несущие историческое и культурное наследие, так и обычные промышленные здания. Много таких объектов есть в городе Харькове. Одним из первых примеров ревитализации является здание, так называемых «Провиантских складов» [9]. Оно является памятником архитектуры и было построено в 1787 году, как военный «провиантский» склад. Много лет здание пустовало.



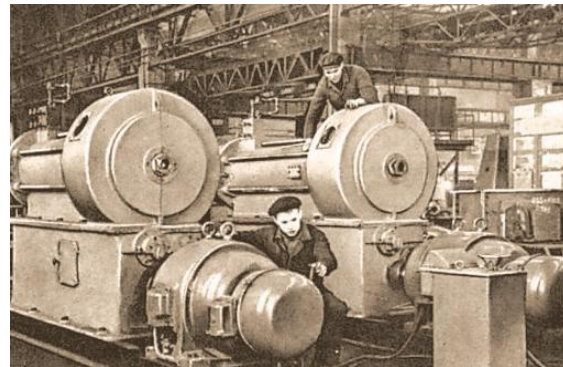
б)



Рис. 1. Общий вид здания завода «Арсенал» г. Киве до ревитализации (а) и после (б)
Fig. 1. General view of the “Arsenal” mill (Kyiv) before (a) and after (b) its revitalization

В 2006 году были выполнены работы по реконструкции здания под торговый комплекс,

рис.3. В процессе реконструкции были выполнены работы по разборке внутренних конструкций деревянных перекрытий и устройству железобетонных. Для сохранения аутентичности внешних стен внутри здания был устроен самостоятельный несущий каркас, а именно колонны, опирающиеся на специально устроенные фундаменты. То есть наружные стены выполняют только ограждающую функцию и полностью сохранили свою аутентичность. В комплекс строительных работ входила замена конструкций крыши и кровли, замена полов, оконных и дверных заполнений, оборудование системами инженерных коммуникаций, отделочные работы и благоустройство прилегающей территории. Работы по реконструкции объекта выполнялись в сложных условиях стесненной застройки центральной части города. Эти условия ограничивали применение производительной техники и механизмов.



б)



Рис.2. Вид помещений здания завода «Большевик» до реконструкции (а) и после (б)
Fig. 2. Premises view of the “Bolshevik” mill before (a) and after (b) its reconstruction

Интерес у специалистов вызывает широко распространенный опыт ревитализации промышленных зданий за рубежом. Одним из известных в Европе примеров реконструкции промышленного здания, является ревитализация хлопчатобумажной фабрики, так называемой «мануфактуры» в г. Лодзь (Польша) [10]. Здание площадью 110,0 тыс. м² стала главным культурным памятником города и популярным туристическим центром Польши, рис.4.

a)



б)



Рис. 3. Вид здания «Провиантского склада» в г. Харькове до (а) и после (б) ревитализации
Fig. 3. General view of the "Proviyance depot" building (Kharkiv) before (a) and after (b) its revitalization

a)



б)



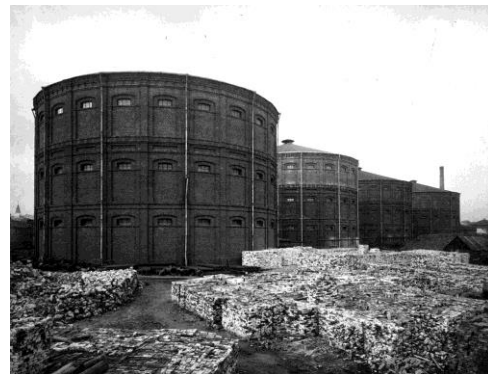
Рис. 4 - Вид здания мануфактуры в г. Лодзь (Польша) до реконструкции (а) и после (б)
Fig. 4. General view of the Lodz manufacture building (Poland) before (a) and after (b) the reconstruction

После завершения работ по реконструкции в 2006 году там расположились торговые, художественные и развлекательные комплексы,

всего 300 концептуальных помещений, в том числе кинотеатр с 15 залами, роллердроме, скейт-парк, стена для скалолазания, гостиница, другие объекты. В процессе реконструкции был выполнен комплекс работ по восстановлению части, разрушенных временем, конструкций каменных стен и перекрытий. Полностью восстановлено первоначальный вид фасада здания. Выполнены внутренние отделочные работы и оснащение здания современными инженерными коммуникациями.

Одним из уникальных и интересным для специалистов пример ревитализации сооружений газохранилищ (газгольдеров) в городе Вена (Австрия) [12, 13]. Газгольдеры представляют собой четыре цилиндрические сооружения объемом около 90,0 тыс. м³, высотой около 70 м и сечением 60 м, каждая. Вокруг так называемого «мокрого» газгольдера устроены кирпичные стены, рис.5. Указанные сооружения были построены в 1896 -1899 годах. В 1984 году они перестали эксплуатироваться. К этому времени они получили статус памятников архитектуры. В 1995 году было принято решение о ревитализации сооружений под гражданские объекты. Каждое из четырех сооружений (А, В, С, D) проектировалась отдельными архитекторами и фирмами, а именно Жаном Новелла (Jean Nouvel), архитектурным бюро Соор Himmelb (l) au (Wolf D. Prix), Манфредом Вадерном (Manfred Wehdorn) и Вильгельмом Хольцбауером (Wilhelm Holzbauer).

а)



б)



Рис.5. Общий вид сооружений газгольдеров в Вене (Австрия) до (а) и после (б) ревитализации
Fig. 5. General view of of gas holders constructions in Vienna (Austria) before (a) and after (b) the revitalization

С 1999 по 2001 годы была проведена реконструкция газгольдеров под объекты социально-культурного назначения, а именно под жилье, студенческие общежития, офисы, торговые и общественные залы с современным инженерным устройством. Общая стоимость работ составила 174,0 млн. Евро. В процессе выполнения строительных работ предполагалось оставить без изменений внешние кирпичные стены и заменить конструкции покрытий сооружений. В внутреннем пространстве были выполнены встроенные объемы многоэтажных зданий. Встроенные помещения были заполнены в соответствии с запроектированного функционального назначения. Так в сооружении «А» на нижнем этаже был оборудован торговый центр и ряд офисов и подземный гараж. Сооружение расположено рядом с линией метро. Над торговым центром расположено 11 жилых этажей с 20 просторными квартирами. Внутренний двор всегда наполнен солнечным светом.

В сооружении «В» расположен 18-этажный жилой комплекс с 254 квартирами. Четвертый и 5-й этажи отведены под студенческое общежитие. Также, здесь оборудованы выставочный зал площадью около 1400 м². Наряду с сооружением был построен дом модернистского стиля, который подчеркивал архитектурную выразительность сооружения «В». Построенный рядом дом в виде согнутого листа бумаги, называют «щит» (от нем. Schild - щит).

В сооружении бывшего газгольдера «С» были размещены 3-этажный торгово-офисный центр, а выше 6-ти этажный жилой комплекс с 92 квартирами.

В сооружении «Д» размещены служебные помещения и архива магистратуры города, торговые помещения. Выше размещено 119 жилых квартир. В середине бывшего газгольдера расположена зеленая площадка.

После открытия сооружений, в результате ревитализации, город получил дополнительно 600 рабочих мест. В зданиях проживает в общей сложности 1600 человек. Площадь офисных помещений составляет 11,0 тыс. м². Площадь торговых помещений в соответствии 20,0 тыс. м². В сооружениях расположены гаражи, детский сад, 12 кинозалов, и тому подобное.

На период выполнения строительных работ это была крупнейшая строительная площадка Европы, с площадью почти 220,0 тыс. м² [13]. После разработки проектной документации и проведения комплекса подготовительных работ, приступили к демонтажу металлических конструкций газгольдеров. Следующим этапом выполнены работы по демонтажу конструкций фонарей и покрытий газгольдеров. Так, в качестве покрытия были, купольного типа, то сначала в центре середины сооружения устанавливался кран-опора, для временного закрепления конструкций. Это позволило разобрать секции покрытия, обеспечив их устойчивость на период

демонтажа. Далее выполнялся комплекс работ по устройству дополнительных оконных и дверных проемов в стенах. Нужно отметить, что толщина кирпичных стен на отдельных участках достигала 4,5 м. Работы выполнялись высокопроизводительными машинами, рис.6. Предварительно устраивались перемишки из монолитного железобетона, а уже потом выполнялись работы по разборке участков стен. Следующим шагом было устройство фундаментов под многоэтажные конструкции строились в середине сооружений. Фундаменты, вертикальные и горизонтальные несущие строительные конструкции выполнены из монолитного железобетона. Для обслуживания строительных площадок (отдельных сооружений газгольдеров) использовались башенные краны.



Рис. 6. Разборка кирпичных стен при устройстве дверных и оконных проемов

Fig. 6. Masonry dismantling when door and window openings constructing

Транспортировка бетонной смеси осуществлялась бетононасосами с распределительными стрелами, рис.7. После возведения конструкций встроенных этажей, были выполнены работы по устройству покрытий. Параллельно выполнялись работы по пристройке здания «Щит» и строительства станции метро. Далее выполнен комплекс работ по устройству сетей инженерных коммуникаций, комплекс отделочных работ и благоустройство прилегающих территорий.



Рис.7. Бетонирование конструкций стен и перекрытий

Fig. 7. Concreting of walls and ceilings structures

О масштабах комплекса ремонтно-восстановительных и строительно-монтажных работ, свидетельствуют их объемы:

- разборка и демонтаж стальных конструкций - 600,0 т;
- устройство опалубки при бетонировании конструкций - 160,0 тыс. м²;
- укладка бетонной смеси - 93,0 тыс. м³;
- устройство кровель 78,0 тыс. м²;
- разборки кирпичных стен при устройстве дверных и оконных проемов - 4500 м²;
- монтаж стальных конструкций - 11,0 тыс. т;
- монтаж несущих конструкций купольных покрытий 1600 т;
- прокладка кабелей - 300 км;
- прокладка водопроводных труб - 120 км;
- установка дверей - 8200 шт., окон - 5000 шт.

При выполнении работ применены современную технику и технологии, которые позволили выполнять строительные работы в сжатые сроки. Следует отметить о значительном влиянии на выбор организационно-технологических решений целого ряда факторов и условий реконструкции [14].

Ревитализация промышленных сооружений бывших газгольдеров под гражданские объекты - стала уникальным примером экологической реконструкции города-мегаполиса. «Старые» сооружения получили не только обновленную внешность, но и получили новое привлекательное назначения.

Процесс реконструкции промышленных зданий под объекты гражданского назначения сопровождается рядом особенностей. Указанные особенности отражают специфические условия расположения объектов ревитализации в городской застройке с присущими селитебными, санитарными или экологическими составляющими [15-18]. Эти особенности ограничивают выполнение ремонтно-строительных работ индустриальными методами с применением высокопроизводительной техники.

Исследования различных условий и особенностей производства строительных работ на многих объектах ревитализации, выявили целый ряд препятствий и соответственно ограничений, табл.1.

На основании результатов исследований, приведенных условий и особенностей производства строительных работ на ряде объектов, были сформированы группы наиболее существенных факторов (x_i), которые негативно влияют на эффективность работ. Эти факторы принято называть «дестабилизирующими» [19, 20].

К числу наиболее существенных факторов отнесены следующие: x_1 - стесненность объектов; x_2 –наличие наземных инженерных коммуникаций; x_3 –наличие подземных инженерных коммуникаций; x_4 –наличие технологических и инженерных сооружений; x_5 – архитектурно- планировочные решения зданий; x_6 –техническое состояние строительных кон-

струкций; x_7 –условия эксплуатации прилегающей застройки.

Таблица 1. Препятствия и ограничения, вызываемые условиями производства строительных работ при реконструкции зданий

Table 1. Obstacles and constraints caused by the construction works conditions during reconstruction

№ п/п	Причины препятствий	Ограничения в производстве работ
1	Высокая плотность застройки	Ограниченное использование производительной техники. Ограничения в зоне действия негабаритной техники
2	Интенсивное движение городского транспорта и пешеходов в непосредственной близости от места производства работ	Организация строительства небольшими захватками. Восстановление покрытий дорог и площадок после выполнения работ. Восстановление зеленых насаждений и элементов благоустройства
3	Сеть существующих наземных коммуникаций	Выполнение работ по разборке. Вынос или защита коммуникаций
4	Сеть существующих подземных коммуникаций, действующих	Разборка сетей. Вынос сетей или их ограждение
5	Сеть существующих подземных коммуникаций, не действующих	Разборка сетей с комплексом земляных работ и последующим восстановлением покрытий дорог, площадок
6	Наличие технологических и инженерных сооружений	Снос сооружений. Модернизация сохраняемых сооружений
7	Большое разнообразие архитектурно-конструктивных решений	Применение большой номенклатуры средств производства (инструмента, оснастки, машин и механизмов). Небольшие объемы работ. Ограничение фронта работ
8	Физический износ строительных конструкций	Работы по частичному разрушению и демонтажу конструкций. Работы по усилению строительных конструкций. Работы по замене строительных конструкций
9	Наличие примыкающих, действующих объектов	Ограничение работ в ночные смены. Ограничение применения машин с двигателями внутреннего сгорания. Ограничение динамических воздействий, пыли и шума

Представленный круг наиболее существенных факторов, установлен с помощью метода экспертных оценок (метод Дельфа) из несколько большего числа [21]. Для количественной оценки влияния указанных факторов, были предложены формулы, которые отражали степень влияния каждого из них. Построение формул основывается на сравнении фактических условий объекта реконструкции с показателем, оказывающим влияние на увеличение затрат. Величины значений дестабилизирующих факторов установлены в границах от 0,01 до 0,89. Физический смысл этого влияния заключается в выявлении уровня повышения трудоемкости, продолжительности и стоимости строительных работ при воздействии (наличии) конкретного фактора. Влияние дестабилизирующих факторов на технико-экономические показатели реконструкции, можно представить в виде зависимости:

$$Y = f(x_1; x_2; \dots; x_i; \dots; x_n),$$

где: Y – исследуемый технико-экономический показатель (трудоемкость, стоимость, продолжительность);

f - функция, включающая нормативное значения (без учета влияния дестабилизирующих факторов);

$x_1; x_2; \dots; x_i; \dots; x_n$ – численные значения дестабилизирующих факторов, которые учитываются.

Подставляя в правую часть зависимости, произведения нормативных значений трудоемкости, продолжительности и стоимости и численных значений дестабилизирующих факторов, получаем фактические значения технико-экономических показателей. Графически, принципиально установленную зависимость можно представить в виде графика, рис.8. Смысл представленного графика в демонстрации пропорционального роста параметров эффективности строительных работ от значений дестабилизирующих факторов.

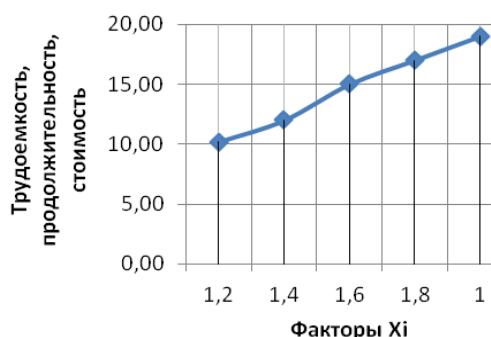


Рис.8. Обобщенный график зависимости трудоемкости, продолжительности и стоимости строительных работ при реконструкции от влияния дестабилизирующих факторов

Fig. 8. A generalized graph of complexity, duration, construction cost and destabilizing factors dependence during the reconstruction

Установленные зависимости позволяют прогнозировать технико-экономические показатели процесса производства строительных работ при реконструкции до непосредственного начала их выполнения. Для этого необходимо провести тщательные исследования и установить численные значения дестабилизирующих факторов.

Полученные результаты являются инструментом, позволяющим на основе объективных данных, разрабатывать проектно-технологическую документацию, а именно проекты организации строительства и проекты производства работ. Представленная методика оценки условий реконструкции, также является весомым аргументом для согласования взаимоотношений между подрядчиками и инвесторами.

ВЫВОДЫ

Анализ опыта ревитализации отдельных промышленных зданий, приведенных выше, свидетельствует об их разнообразии по многим признакам:

- время строительства,
- материал основных несущих и ограждающих строительных конструкций,
- архитектурно-конструктивные решения,
- разное техническое состояние строительных конструкций,
- номенклатура и объемы ремонтно-восстановительных работ,
- специфика функционального назначения и соответствующая инфраструктура прилегающей застройки,
- функциональное назначение до и после реконструкции, и тому подобное.

Указанные признаки требуют тщательного осмысления процесса ревитализации с целью разработки единых подходов и направлений направленных на улучшение параметров эффективности строительных работ. Научные исследования в этом направлении должны способствовать разработке решений, направленных на эффективную подготовку и реализацию реконструкции промышленных зданий под гражданские объекты, рациональными методами, с прогнозируемыми материально-техническими и финансовыми ресурсами.

На основании анализа опыта выполнения строительных работ при ревитализации промышленных зданий в Украине и за рубежом, установлено:

- выявлен ряд дестабилизирующих факторов, которые существенно влияют на эффективность работ,
- определены численные значения факторов и определен их механизм влияния на технико-экономические показатели строительных работ,
- представлена методика оценки фактического влияния особенностей работ на критерии эффективности реконструкции,

- своевременное и точное выявление указанных факторов, а также их учет при проектировании, позволит реально оценить предполагаемые трудовые, материально-технические и финансовые ресурсы реконструкции,
- выявление наиболее значимых факторов позволит принимать организационно-технологические решения, направленные на снижение их влияния. Это может быть применение различных, современных способов производства строительных работ, изменение номенклатуры строительных машин и механизмов, изменение архитектурно-планировочных и конструктивных решений реконструкции, другое.

Представленные выводы и рекомендации направлены на снижение затрат на производство строительных работ в условиях реконструкции зданий. В целом, комплекс представленных мер позволит повысить эффективность реконструкции зданий в целом, тем самым улучшить привлекательность этого процесса для инвесторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савйовський В., Каржинерова О., Броневицкий А. 2015. Особливості реконструкції промислових будівель під цивільні об'єкти. ХНУБА, ХОТВА АБУ.- №1 (79). – 71-75.
2. Ревіталізація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://uk.wikipedia.org>. – Названіє с екрана.
3. Савйовський В. 1997. Технологія реконструкції. - Харків: Основа. - 256.
4. Савйовський В., Болотських О. 1999. Ремонт і реконструкція громадянських будівель. - Харків: Ватерпас. – 288.
5. Савйовський В. 2014. Технологія возведення і ремонту споруджень: навчальне посібник / В.В. Савйовський. –Харків: Видавництво «Лідер».- 256.
6. ДБН В.3.1-1-2002, 2003. Ремонт і посилення несучих і огорожуючих будівельних конструкцій і основань промислових будівель і споруджень. – К.: Госстрой України. – 82.
7. Реновація промислових будівель в Києві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://antiraider.ua>. – Названіє с екрана.
8. Ревіталізація промислових об'єктів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.bstu.by/uploads/vestnik/1/2012>. – Названіє с екрана.
9. Харків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.kharkov.ua>. – Названіє с екрана.
10. Manufaktura [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.manufaktura.com>. - Title from the screen
11. Caixa Forum [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.lacaixa.es>. - Title from the screen
12. Wiener- Gasometer [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.wiener-gasometer.at> - Title from the screen
13. Gasometer [Electronic Resource]. – Mode of access : URL : <http://www.gasometer-city.eu/umbau.htm> - Title from the screen
14. Савйовський В., Савйовський А., Сухорукова Т. 2014. Технологічні можливості закріплення на фундаменти на сградите. XIV Міжнародна наука конференція ВСУ`2014. Вище будівельно училище «Любен Каравелов».-Софія.
15. ДБН А.3.1- 5 – 2009, 2012. Організація будівельного виробництва - К.: Держкомітет буд України.-96.
16. Кравчуновська Т. 2010. Комплексна реконструкція житлової забудови: організаційно-технологічні аспекти: Монографія. - Дніпропетровськ: Наука і освіта. - 230.
17. ДБН А.3.2-2-2009, 2012. «Охрана труда и промышленная безопасность в строительстве».-К.: Минрегионстрой Украины.
18. Коновалов П. 1998. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. -2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат. - 287.
19. Савйовський В., Броневицкий А., Савйовський А. 2008. Влияние технического состояния строительных конструкций на технико-экономические показатели реконструкции. Вестник Инженерной Академии Украины. -Вып.1.-К.21-22.
20. Савйовський В., Савйовський А. 2013. Усилення фундаментів при реконструкції будівель / Владимир Савйовський, Артем Савйовський// MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. - Lublin. - Vol. 15, № 6. - 59-66.
21. Бешелев С., Гурвич Ф., 1980. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Статистика.-263.

WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE INDUSTRIAL BUILDINGS REVITALIZATION.

Summary: The research results of the construction features during the industrial buildings revitalization are performed. The term "revitalization" of industrial buildings is defined. A typical list of the repairing works, which are carried out by the example of the revitalization of certain domestic and European objects is given. The group of negatively affecting so-called "destabilizing" factors for the technical and economic indices of construction works is revealed. The dependences of the factors influence for the effectiveness of the construction works are discovered and directions of their accountability when predicting the complexity, duration and cost of revitalization are indicated.

Key words: revitalization of buildings, features of revitalization, efficiency of construction works

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Александр Редько, Юрий Пивненко

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40

E-mail: tgytver@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены проблемы применения древесных отходов в качестве топлива. Получены экспериментальные и теоретические результаты исследований гидравлических режимов кипящего слоя различных материалов.

Ключевые слова: Кипящий слой, первая критическая скорость, вторая критическая скорость, древесные отходы, псевдооживление.

ВВЕДЕНИЕ

Применение альтернативных источников энергии, в частности, биотоплива в Украине является основным стратегическим направлением развития энергетики. Государство обладает большим потенциалом биоресурсов, таких как отходы лесоперерабатывающей и сельскохозяйственной промышленности.

По данным Государственного агентства земельных ресурсов Украины площадь, покрытая лесной растительностью страны составляет 9683,3 тыс. га.

Одним из важнейших аспектов устойчивого развития человечества является решение проблемы предотвращения глобального изменения климата.

Предотвращение глобального изменения климата базируется на сокращении использования ископаемых источников энергии – каменного и бурого угля, нефти и (в меньшей степени) газа. В то же время применение в качестве источника энергии воспроизводимого сырья – древесины не приводит к парниковому эффекту, так как количество углекислоты, которая выделяется при горении равна тому количеству, которое поглотило дерево в процессе фотосинтеза.

Древесина является одним из старейших источников топлива, известных человеку. Его использование переживает что-то вроде ренессанса, со все большим пониманием необходимости сокращения нашей зависимости от ископаемых видов топлива в пользу возобновляемых альтернатив, как важный элемент в борьбе с изменениями климата.

Древесные отходы подразделяются на первичные и вторичные отходы. Первичные отходы – это отходы, образующиеся при рубке деревьев, вторичные – отходы деревообработки [9].

Ниже приведен технический потенциал лесной биомассы Украины состоянием на 2008 г. (Табл. 1).

Наибольшее беспокойство с точки зрения воздействия на окружающую среду и здоровье человека вызывают твердые частицы, удаляемые с дымовыми газами. Для улавливания твердых частиц устанавливаются системы газоочистки.

Таблица 1. Технический потенциал лесной биомассы в Украине [14]

Table 1. Technical potential of wood biomass in Ukraine

Тип биомассы	Технический потенциал	
	МДж·10 ⁻⁹	т·10 ⁻⁶
Стволовая древесина	49,95	2,79
Первичные древесные отходы	22,63	1,41
Вторичные древесные отходы	16,50	0,92
Суммарное количество	89,08	5,12

Деревья и другие зеленые растения способны производить новую биомассу в результате фотосинтеза. В этом процессе участвуют солнечный свет, вода, минеральные вещества почвы и углекислый газ (CO₂). Процесс горения с выделением углекислого газа является одним из элементов нормального природного круговорота. Пожары и естественное горение обширных лесных массивов являются одним из компонентов динамики лесных экосистем во всех регионах земного шара.

Образование ископаемого топлива происходило в ходе геологических процессов глубоко под землей в течение миллионов лет. Хотя ископаемое топливо также имеет растительное происхождение, его нельзя отнести к возобновляемым источникам энергии из-за медленного процесса образования такого топлива. Неизбежным является истощение запасов ископаемого топлива, в особенности запасов нефти [16].

Наиболее приспособленными для утилизации древесных отходов различного происхождения являются топки с кипящим слоем [3, 4, 5, 12, 13, 17].

Механизм работы аппаратов с кипящим слоем следующий: воздух или газ равномерно проходит через слой измельченных твердых частиц, на низких скоростях слой неподвижен. С повышением скорости частицы входят во взвешенное состояние,

принимают вид кипящего слоя. Далее, при дальнейшем повышении скорости наблюдается унос частиц.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Древесные отходы можно разделить по эффективности их использования на 5 групп (Табл. 2).

Таблица 2. Классификация древесных отходов
Table 2. Classification of wood waste

Группа	Тип древесных отходов
I группа.	Крупные древесные отходы. Использование в качестве топлива невозможно или весьма усложнено. Пни, кора, горбыль, рейка, торец, сучки и др.
II группа.	Древесные отходы повторного использования. Использование весьма сложное. Древесина сносимых зданий, строительная упаковочная.
III группа.	Материал прошел обработку, а именно дробление. Готов к использованию Отходы лесопильных производств (щепа)
IV группа.	Отходы деревообработки. Материал не требует дополнительной обработки перед его использованием. Стружка, опилки и др.
V группа.	Подготовленное древесное топливо. Гранулы (паллеты, брикеты).

Так, в первой группе можно отметить очень существенные сложности использования данных отходов: сложность транспортировки, низкая эффективность сжигания. Большинство топочных устройств не приспособлены к сжиганию крупных древесных отходов.

Главным недостатком второй группы древесных отходов является их не экологичность. Как правило сырье данной группы имеет пропитку, краску и другие включения (металл, стекло, пластик и др.).

Третья группа характеризуется тем, что крупные отходы проходят дробление, поэтому эффективность их сжигания будет значительно выше чем у второй группы.

Четвертая группа отходов – это мелкие отходы деревообрабатывающего производства (вторичные отходы), их можно подавать в топку без дополнительной обработки.

Пятая группа – это прессованные древесные отходы. Теплотворная способность такого топлива выше, чем у не обработанных отходов, но при этом цена также выше.

Подготовленное топливо (прессованные, сушеные гранулы - паллеты) имеет большую плотность, поэтому оно не требует инертного материала, что позволит повысить теплообмен в слое.

Для производства паллетов наиболее широко применяют цилиндрические матричные прессы (Рис. 1), много режущих – плоскоматричные (Рис. 2). В ходе прессования материал нагревается, лигнин размягчается и валками продавливается через конические отверстия матрицы. [16]



Рис. 1. Цилиндрический матричный пресс
Fig. 1. Cylindrical matrix press



Рис. 2. Плоскоматричный пресс
Fig. 2. Flat matrix press

Изготовление паллетов состоит из 4 этапов:

1. Сушка сырья. Влажность сырья для паллетов зависит от условий хранения. Поскольку обычно сырье хранится под открытым небом, то до прессования его необходимо высушить до требуемого уровня влажности (12–17%). Слишком сухой материал может

оплавиться, слишком влажный не позволит частицам склеиться.

2. Измельчение сырья. Сырье для производства паллетов (опилки и стружки) неоднородны по размеру. Перед прессованием сырье необходимо гомогенизировать и этого обычно применяют молотковые мельницы.
3. Прессование паллетов матричными прессами.
4. Охлаждение. Паллеты выходят из пресса горячими, и во избежание самовозгорания их следует до складирования охладить.

При использовании древесных отходов в качестве топлива приходится сталкиваться с некоторыми проблемами.

Основным недостатком древесного топлива является трудность в транспортировке. Как отмечено в [21] транспортирование неподготовленной биомассы экономически целесообразно на расстоянии не более 50-100 км. Очевидно, что строительство объекта по использованию древесного топлива должно располагаться в непосредственной близости от лесоперерабатывающего производства.

В обычных ТЭЦ, топливо подготавливается в соответствии с требованиями и характеристиками топок и котельных установок. Топки котлов разработаны с учетом характеристик и параметров поставляемого топлива. Поставка топлива происходит по договорам, таким образом гарантируется поставка топлива. В случае с биомассой таких соглашений не существует, так как рынок биомассы неорганизован.

Топливо из биомассы – не регулируемый товар, доступен на открытом рынке, что делает цену очень динамичной.

Другой проблемой применения древесных отходов в качестве топлива является трудность их сжигания. Процесс горения древесины намного сложнее чем горение ископаемого топлива. Влажность материала, большая зольность, неоднородный фракционный состав – главные характеристики, понижающие эффективность сжигания древесного топлива.

Насыпная плотность древесных отходов существенно зависит от влажности (Табл. 3).

Ниже приведены значения зольности различных частей деревьев разных пород (Табл. 4):

Таблица 4. Распределение золы в частях дерева [11]
Table 4. Distribution of parts of wood ash

Часть дерева	Количество золы в абсолютно сухой массе древесины, %
Ствол	0,2-0,7
Кора	1,4-2,7
Ветви, сучки, корни	0,3-0,7

Значительные отличия в фракционном составе древесных отходов стали причиной создания разных топочных устройств для их утилизации.

Существуют три способа сжигания древесины: слоевой, факельный, вихревой.

Слоевые топки подразделяются на топки с плотным слоем и топки с кипящим слоем.

Самым перспективным методом сжигания древесного топлива является сжигание его в топках с кипящим слоем.

Таблица 3. Насыпной вес древесных отходов [11]

Table 3. Bulk density of wood waste

Наименование отходов	Характеристика отходов	Влажность, %	Насыпная плотность, кг/м ³
Щепа и дробленка	Влажная	50-60	200-350
	Сухая	18-20	130-180
Стружки мелкие	Сухие естественной насыпки	16-18	100-105
	Сухие утрамбованные	16-18	210
Опилки крупные	Влажные естественной насыпки	50-60	170
	Влажные утрамбованные	50-60	260
	Сухие естественной насыпки	8-10	100
	Сухие утрамбованные	8-10	150
Опилки мелкие	Влажные естественной насыпки	50-60	190
	Сухие естественной насыпки	8-10	115
	Сухие утрамбованные	8-10	160
Древесная пыль	Хвойных пород	15	150-200
	Твердых лиственных пород	15	460

Реконструкция существующих котлов работающих для сжигания низкосортных топлив показывает свою перспективность [1, 8, 18, 20].

В институте «УкрНИИинжпроект» имеется опыт сжигания углей в кипящем слое в реконструированных котлах типа НИИСТУ-5 тепловой мощностью 0,45-0,54 МВт.

Компания «Энергополис» (г. Днепропетровск) является представителем компании «Петрокотёл» на территории Украины и предлагает технологию, как для реконструкции действующих котлов, так и для нового строительства производственно-отопительных котельных на твёрдом топливе.

Существует Европейский опыт успешного внедрения биотоплива в энергетику [6]:

- котельная мощностью 6 МВт работающая на древесном топливе в г. Тюри, Эстония;
- котельная мощностью 6 МВт работающая на древесном топливе в г. Тарту, Эстония;
- котельная мощностью 7 МВт работающая на древесном топливе в г. Выру, Эстония;
- котельная мощностью 6 МВт работающая на древесном топливе в г. Вильянди, Эстония.

На установке комбинированного производства тепловой и электрической энергии в Нассио (Швеция), принадлежащей одной из крупнейших шведских энергетических компаний, в течение нескольких лет используется полный цикл производства энергии с применением древесного топлива – от погрузочно-разгрузочных работ и сжигания топлива до утилизации золы в лесу. Установка, которая производит как тепло, так и электричество, построенная в 1991 г. с целью использования местного топлива, является первой в стране установкой совместного производства тепловой и электрической энергии.

Сжигание топлива осуществляется в циркулирующем псевдоожиженном слое. С 1995 г. в качестве топлива используется только биотопливо, которое состоит из лесосечных отходов или побочных продуктов производства лесопильных предприятий, расположенных в районе Нассио.

Так как влажность используемого топлива составляет 50%, установка оборудована устройством конденсации отходящих газов, что позволяет использовать содержащееся во влажных отходящих газах тепло в сети централизованного теплоснабжения. Зола, образующаяся при сжигании биотоплива, утилизируется в лесу, что завершает цикл производства энергии [16].

Основные преимущества топок с кипящим слоем:

- более интенсивное сжигание подвижного слоя, чем стационарного;
- система подачи топлива у котлов с кипящим слоем проще, они менее требовательны к качеству топлива и лучше приспособлены к его ступенчатому сжиганию, необходимому для снижения выбросов оксидов азота;

- доля подовой золы в общем объеме золы, получаемой в установках для сжигания в псевдоожиженном слое, значительно ниже, чем в системах сжигания с неподвижным слоем, и составляет 20-30%. Остальные 70-80% полученной золы составляет зола уноса, которая выносятся с топочным газом [7].

Псевдоожижение позволяет обойти ряд трудностей, связанных с использованием гранулированных материалов, и способствует интенсификации теплообмена в слое. Важным преимуществом кипящего слоя с точки зрения теплопереноса является большой коэффициент теплопередачи от слоя к погруженным в него теплообменным поверхностям. Его значения могут лежать в интервале 300–800 Вт/(м²·К) в зависимости от таких факторов, как размеры частиц топлива и расход воздуха.

Характерной особенностью «кипящего слоя» является развитая поверхность частиц, в результате чего достигается высокая степень выгорания углерода. Одновременно при сжигании твердого топлива в топках котлов в кипящем слое снижаются выбросы диоксида серы и оксидов азота в продуктах сгорания [8].

Первым этапом разработки топки с кипящим слоем является определение оптимальных параметров ожижаемого воздуха, пределов аэродинамического существования кипящего слоя.

Древесные отходы – материал с низкой плотностью, вследствие чего невозможно достичь стабильного состояния псевдоожижения без применения инертного материала. В качестве инертного материала чаще всего используют песок или известь.

Важным определяющим критерием эффективности сжигания мелкофракционного топлива является величина уноса. В технологии кипящего слоя минимизировать унос можно определив пределы существования кипящего слоя, который заключается в определении первой и второй критических скоростей. Первая критическая скорость характеризует начало псевдоожижения, вторая – унос материала.

При расчетах аппаратов кипящего слоя используют, как правило, следующие формулы [2, 10, 15]:

Для определения первой критической скорости рассчитывают критерий Архимеда и критерий Рейнольдса:

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_c},$$

где: g – ускорение свободного падения, м/с²,

d – эквивалентный диаметр частицы, м,

ρ_m – плотность материала, кг/м³,

ρ_c – плотность ожижающего агента кг/м³,

ν – кинематическая вязкость м²/с.

Далее рассчитывают критерий Рейнольдса по формуле Годеса:

$$Re = \frac{Ar}{150 \frac{1-\varepsilon_{кр}}{\varepsilon_{кр}^3} + \left(\frac{1,75}{\varepsilon_{кр}^3} Ar\right)^{1/2}},$$

где: $\varepsilon_{кр}$ – критическая порозность слоя.

Исходя из того, что:

$$Re = \frac{wd}{\nu},$$

первая критическая скорость будет равна:

$$w' = \frac{Re \cdot \nu}{d}.$$

Перепад давления в псевдоожиженном слое равняется:

$$\Delta P = H\rho_0,$$

H – высота слоя, м;

ρ_0 – насыпная плотность материала, кг/м³.

Вторую критическую скорость определяют по следующей зависимости:

$$Re = 1,74\sqrt{Ar}.$$

Вторая критическая скорость:

$$w'' = \frac{Re \cdot \nu}{d}.$$

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стабильное состояние псевдоожижения и определение пределов существования кипящего слоя позволит обеспечить эффективное сжигание топлива в топке. Вследствие полидисперсности частиц критические скорости для каждой фракции материала разнятся. Поэтому невозможно полностью исключить унос, однако его можно снизить до минимума.

Применение инертного материала снижает эффективность теплообмена, недостаточное его количество приводит к уносу.

Известь может использоваться в качестве инертного материала, ее преимуществом является то, что известь вступает в реакцию с двуокисью серы, образуя сульфит кальция. В этом случае количество выбросов двуокиси серы снижается приблизительно на 80-90% [6].

Основными целями исследования являются определение пределов существования кипящего слоя для каждого из материалов, оптимального соотношения инертного и ожижаемого материалов, а также возможность использования топливных гранул в кипящем слое без применения инертного материала.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для определения пределов существования псевдоожиженного слоя проводился эксперимент на установке (Рис. 3). состоящей из следующих основных элементов: корпус (1) цилиндрической формы диаметром 200 мм. На корпусе установлены штуцеры (2) с U-образной трубкой для измерения перепада давления. На установке имеется смотровое стекло (3), для наблюдения процесса псевдо-

ожижения, крепление и сетка с круглыми отверстиями (4), гибкая вставка (5). Воздух в установку подается вентилятором ВВД-5.

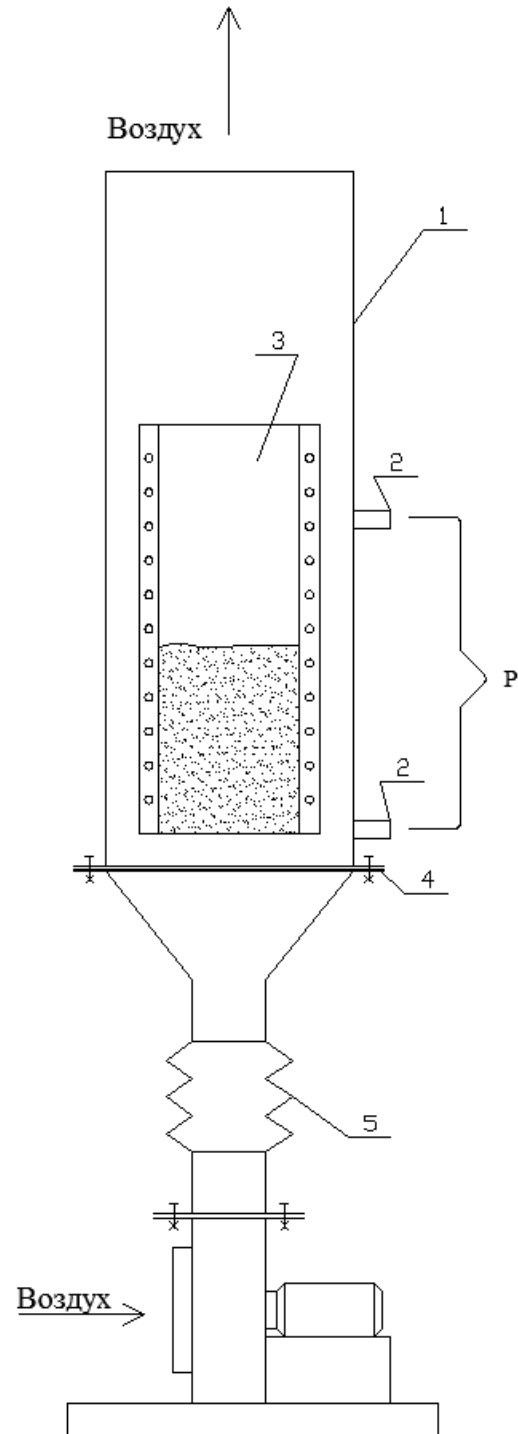


Рис. 3. Схема опытной установки
Fig. 3. Scheme of a pilot installation

Эксперимент проводился при разных скоростях воздуха.

Изменение скорости воздуха производилась с помощью шибера.

Скорость воздуха на выходе из установки измерялась крыльчатым анемометром.

В качестве материалов для псевдооживления использовались подготовленное топливо - древесные гранулы (паллеты) и опилки.

Плотность древесных гранул 1200 кг/м^3 , насыпная плотность 640 кг/м^3 , насыпная плотность опилок 150 кг/м^3 . Паллеты имеют цилиндрическую форму одного диаметра (5мм) разной длины (от 5 до 30 мм).

Такие показатели усложняют определения пределов аэродинамического существования псевдооживленного слоя. Размеры опилок от 2 до 20 мм.

Малая плотность опилок не позволяет создать стабильный псевдооживленный слой. Без приращения инертного материала происходит поршневой и каналообразование, наблюдается существенный унос материала. Эксперимент показал, что оптимальным соотношением инертного и оживаемого материала является 1:1. Насыпная плотность такой смеси 850 кг/м^3 .

По результатам расчетов первая критическая скорость для паллет составляет $1,68 \text{ м/с}$, скорость уноса $11,15 \text{ м/с}$. Перепад давления в псевдооживленном слое составляет $108,8 \text{ мм вод. ст.}$ Ниже приведен график (Рис.4), где показаны экспериментальные (кривая 1) и расчетные данные (кривая 2).

В реальных условиях перепад давления в псевдооживленном состоянии меньше, чем показал расчет (77 мм против $108,8$). Обычно реальная величина на 10-15% меньше теоретической [10]. В данном случае реальная величина меньше теоретической на 29%.

В диапазоне скоростей от $1,53$ до $4,6 \text{ м/с}$ наблюдается зависимость $\Delta P \sim w^{1,4}$. Такой характер начала псевдооживления наблюдается в случаях с полидисперсными системами, и объясняется тем, что для разных фракций псевдооживление начинается при разных скоростях [2].

Полидисперсность данного материала, также объясняет большую разницу между реальным и теоретическим перепадом давлений.

Характер движения зерен такой, что мелкие частицы уже находятся во взвешенном состоянии, когда гранулы крупного размера не приняли свойства псевдооживленного слоя.

При этом вследствие крупности частиц материала наблюдается минимальный унос, что таким образом позволяет сжигать данное топливо без применения инертного материала.

Для слоя древесных опилок с инертным материалом результаты расчетов и экспериментальные данные менее разнятся, что доказывает перспективность применения инертного материала. Так, первая критическая скорость по расчету составляет $0,4 \text{ м/с}$, эксперимент показал – $0,45 \text{ м/с}$. Перепад давления в кипящем слое не превышает 15%. Теоретический перепад давления составляет $144,5 \text{ мм вод. ст.}$, эксперимент показал 130 мм вод. ст.

Ниже приведен сравнительный график (Рис. 5), аналогично предыдущему – кривая 1 показывает экспериментальные данные, кривая 2 – теоретические.

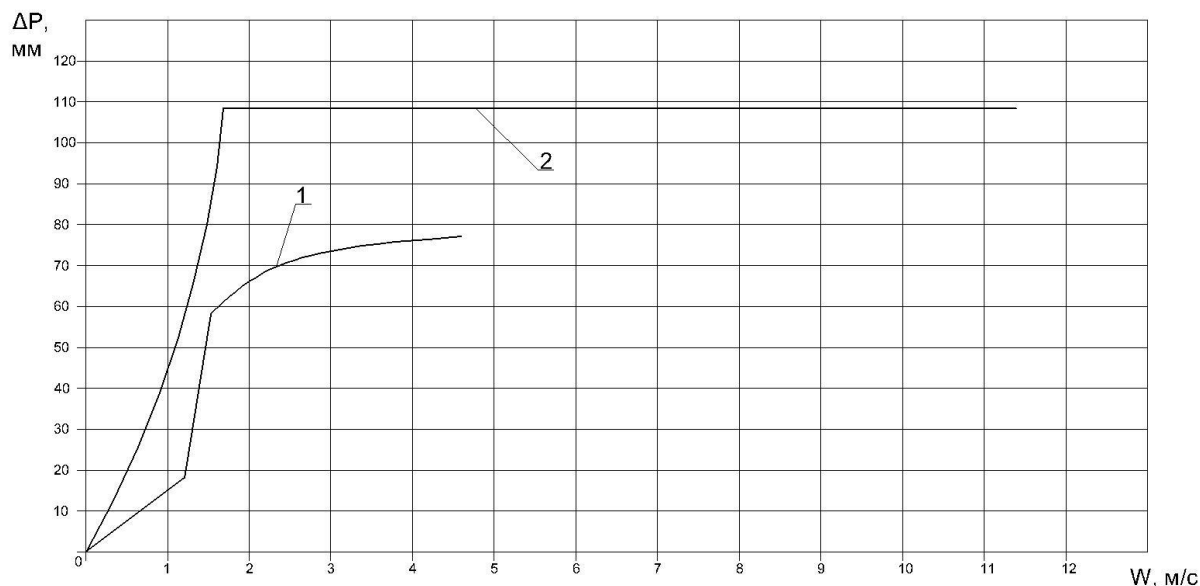


Рис. 4. Зависимость перепада давления слоя паллет от скорости
Fig. 4. Dependence of the pressure drop of pallets layer on the speed

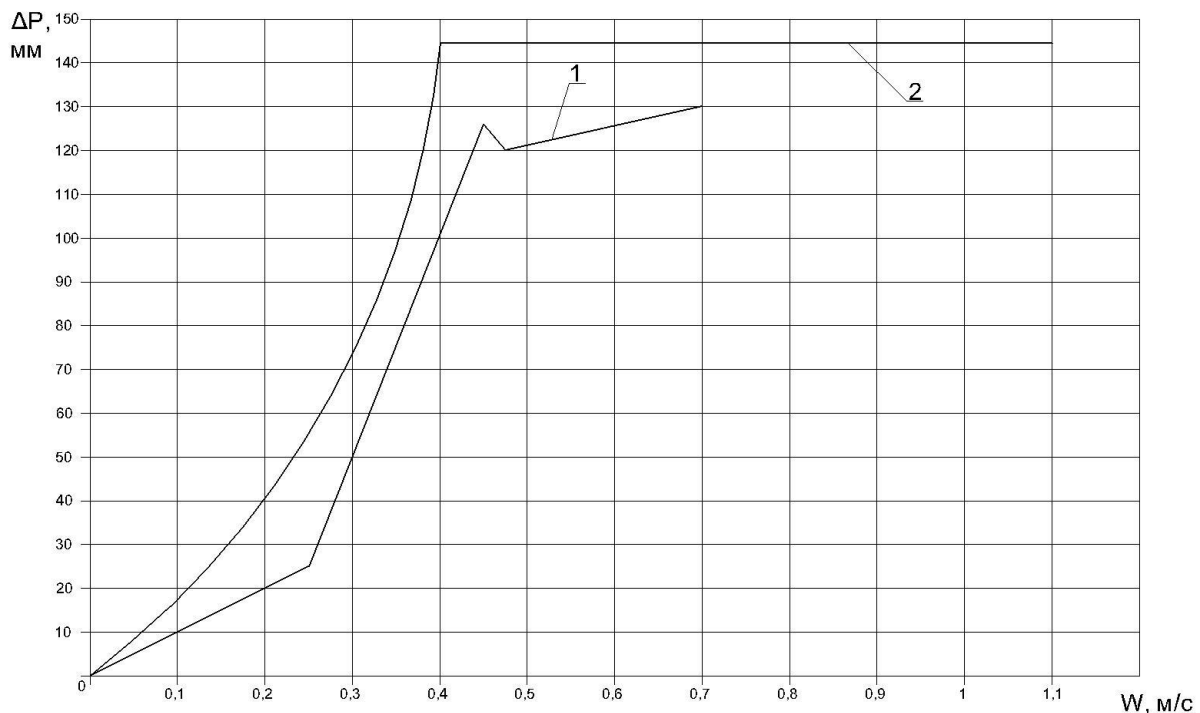


Рис. 5. Зависимость перепада давления слоя опилок и песка от скорости
 Fig. 5. Dependence of the pressure drop layer of sawdust and sand on the speed

ВЫВОДЫ

Эксперимент показал возможность применения древесных гранул в кипящем слое без инертного материала, однако расчеты имеют большую погрешность вследствие полидисперсности. Для определения пределов существования кипящего слоя для таких полидисперсных систем требуется проведение эксперимента.

Псевдооживление слоя древесных опилок с инертным материалом проходит более стабильно, результаты расчета и эксперимента разнятся не более чем на 15%.

Таким образом, в данной работе определено, что в топках кипящего слоя при сжигании легких материалов требуется применение инертного материала для повышения стабильности псевдооживления и уменьшения уноса. Для слоя древесных гранул инертный материал не требуется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов П., Скрыбин А., Королев С., 2004. Испытания котла КВ-ТС-20 при сжигании низкосортных углей в кипящем слое//Ползуновский вестник. – №1. -141-146.
2. Баскаков А., 1986. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник – Л.: Химия.– 352.
3. Безносик Ю., Логвин В., Коринчук К., Киржкер Д., 2014. Сжигание твердого топлива в низкотемпературном кипящем слое с определением

- выбросов токсичных веществ//Технологический аудит и резервы производства. – №2/1(16). – 15-21.
4. Боднар Л., Ткаченко С., Дахновская О., 2012. Проблемы сжигания низкосортного топлива в котлах малой мощности//Наукові праці ВНТУ – В.: ВНТУ – №4. –1-7.
5. Бородуля В., Виноградов Л., 1980. Сжигание твердого топлива в псевдооживленном слое. – М.: Наука и техника. – 192.
6. Варес В., Касък Ю., Муйсте П., Пиху Г., Соосар С., 2005. Справочник потребителя биотоплива – Т.: Издательство Таллиннского технического университета. – 183.
7. Вильдбахер Н., 2007. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе – М., – 29.
8. Власюк А., Зембицкий П., Кучин Г., Скрипко В., Ефимов Г., Павленко П., Менайлов А., 2001. Опыт сжигания низкосортного твердого топлива в топках кипящего слоя отопительных котлов мощностью до 1 МВт//Новости теплоснабжения – №10(14). –15-16.
9. Гелетуха Г., Железная Т., Олейник Е., 2013. Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине//Промышленная теплотехника. – т.35, №5. –48-57.
10. Гельперин Н., Айнштейн В., Кваша В., 1967. Основы техники псевдооживления – М.: Химия. – 664.
11. Загорье А., Зах Р., 1970. Вторичные ресурсы лесоперерабатывающей промышленности – М.: Лесная промышленность – 184.

12. Кундас С., Позняк С., Родькин О., Санникович В., Ленгфельдер Э., 2008. Использование древесной биомассы в энергетических целях – М.:МГЭУ им. А. Сахарова. – 85.
13. Кучин Г., Скрипко В., Сигал А., Быкорез Е., 2009. Перспективы сжигания низкосортного твердого топлива в топках отопительных котлов мощностью до 1 МВт//Промышленная техника. - №4 –51-55.
14. Лакида П., Василюшин Р., Зібцев С., Лакида І., Гелетуха Г., Железна Т., Бьотчер Х., 2011. Енергетичний потенціал біомаси в Україні. – К.: Видавничий центр НУБіП України. – 28.
15. Радованович М., 1990. Сжигание топлива в псевдооживленном слое – М.: Энергоатомиздат – 248.
16. Саволайнен В., Берггрен Х., 2000. Древесное топливо. Базовый пакет информации – М.: Учебно-выставочный издательский центр при УП «Белэнергосбережение» - 188.
17. Сахаров Е., 2002. Специфика работы и конструктивные особенности слоевых топок с кипящим слоем//Новости теплоснабжения - № 6,(22). -16.
18. Чепурний М., Ткаченко С., Пішеніна Н., Бужинський М., 2009. Реконструкція парових котлів для спалювання низькосортних твердих палив//Вісник Вінницького політехнічного інституту. – ВНТУ - №6.– 54-57.
19. Чередник А., Редько А., 2014. Эффективность инфракрасных водяных отопительных панелей//MOTROL – Vol. 16 №6 – 69-76.
20. Шемякин В., Карапетов А., 2009. Внедрение технологии сжигания в кипящем слое как один из путей решения внедрения местных низкосортных топлив в энергетику страны//Новости теплоснабжения – №9(85). - 20-23.
21. Эпик А, Чаплыгин С., Олейник Е., 2011. Экономические и технологические аспекты биоэнергетических проектов в Украине //Казантип-Эко-2011. Сборник трудов. – Х.: <НТМТ>. -147-154.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCHES OF HYDRODYNAMICS OF THE FLUIDIZED BED OF WOOD WASTE

Summary. Considered the problems of the application of wood waste as fuel. Presented experimental and theoretical results of the research of hydraulic fluid bed modes of different materials.

Key words: The fluidized bed, the first critical speed, the second critical speed, wood waste, fluidization.

КОМПЛЕКСНОЕ РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ

Дмитрий Гончаренко, Сергей Забелин, Виктория Лихоград

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40

E-mail: viktorija.lykhohray@gmail.com

Аннотация: В статье освещается комплексный подход к инженерной задаче восстановления культовых сооружений, в т. ч. православных храмов. Рассмотрены вопросы создания проектной документации, предпосылки появления существующих повреждений и деформаций зданий, реставрационные строительные материалы и конструкции, методы выполнения ремонтно-восстановительных работ.

Ключевые слова: восстановление храмов, ремонтно-реставрационные работы, реставрационные строительные материалы, усиление конструкций.

ВВЕДЕНИЕ

Культовые здания – это историческое наследие наших предков. Они являются не только великолепными объектами архитектуры, но и выдающимися примерами строительного мастерства тех лет. Видное место среди них занимает православная церковная архитектура, в число которой входят храмы, монастыри, религиозные школы и духовные семинарии. Но так как Церковь оказывалась в эпицентре военно-политических катаклизмов Первой и Второй мировых войн, революционных потрясений, репрессивной политики тоталитарного режима, преступлений гитлеровских оккупантов, то ее религиозные здания были подвержены разрушающим воздействиям. Так, например, в период с 1857-1960 гг., согласно записям Филарета и исследованиям А.Ф. Параманова, количество православных храмов в Харьковской губернии изменилось приблизительно с 839 на 336. Большее количество среди тех церковных зданий, которые не были разрушены,

использовались под зернохранилища, склады, клубы и прочее [14, 16, 20].

С 1990 г. в Украине начался процесс возвращения сакральных зданий религиозным организациям и их возобновление. Среди храмов Харьковской епархии, которые дошли до наших дней, лишь 40 относятся к деревянному зодчеству и менее 300 – к каменному. В данной статье рассматриваются только церкви, которые выполнены из каменных конструкций. Это обусловлено количеством сохранившихся объектов, возможностью внедрения эффективных технологий и наличием значительного запаса прочности существующих конструктивных элементов.

Несмотря на то, что ремонтные работы по восстановлению православных храмов на протяжении последних 20 лет ведутся интенсивно [2, 5, 6, 7], на Слобожанщине и на сегодняшний день встречаются заброшенные, полуразрушенные храмы (рис.1).

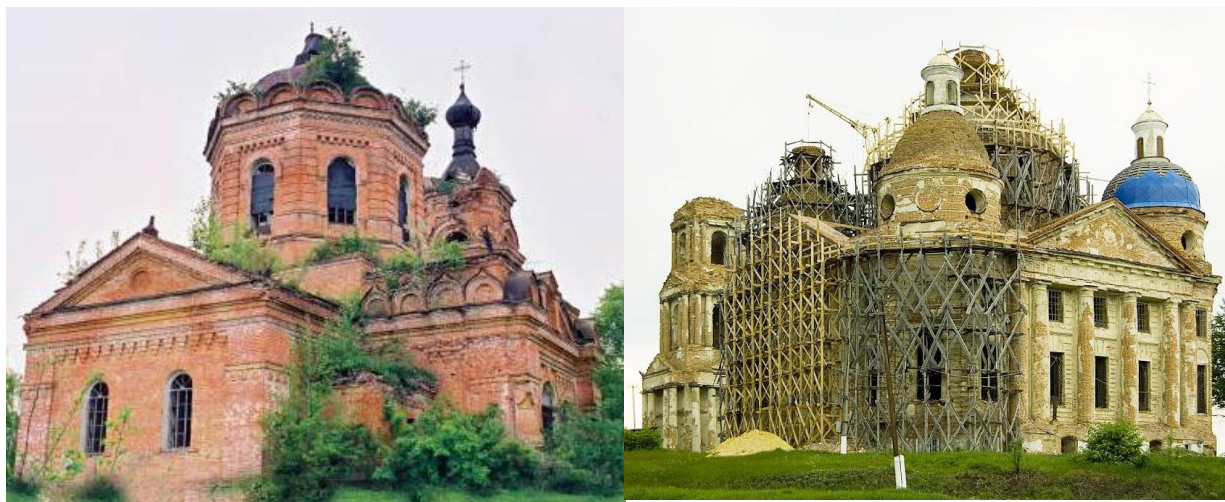


Рис. 1. Православные храмы Слобожанщины, которые подлежат восстановлению

а) Николаевская церковь, с. Червленое

б) Церковь Рождества Богородицы, с. Юнаковка

Fig. 1. Orthodox churches that are subject to recovery in Slobozhanshchina

а) Church of Saint Nicholas, c. Chervlenoe

б) Church of the Nativity of the Virgin, c. Yunakovka

Данные здания долгое время находились не в благоприятных эксплуатационных условиях, которые повлияли на их состояние. Но значительная часть из них либо сохранила эксплуатационные свойства, либо техническое состояние их позволяет воссоздать заложенные конструктивные и художественные характеристики. Поэтому реконструкция этих храмов приведет не только к восстановлению архитектурного наследия, а и к возвращению духовной жизни населенных пунктов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрение научных достижений зарубежных и отечественных ученых и специалистов в вопросах реставрации и ремонта исторических зданий. Формирование системных представлений о причинах повреждений зданий, строительных материалах, конструкциях и методах выполнения работ, которые используются для восстановления православных церквей в Украине. Научный поиск способов решения проблем повышения эффективности организационно-технологического процесса и качества производства работ при восстановлении православных храмов.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Восстановление православных храмов и других объектов культурного наследия занимает доминирующую позицию в исследовательской деятельности как отечественных [3, 4, 5, 11, 19], так и зарубежных [1, 13, 15] ученых. Их работы посвящены повышению качества методов обследования зданий, возможности применения эффективных материалов аутентичных старым, разработке новых и совершенствованию существующих технологий по усилению и замене конструкций, внедрению средств малой механизации при выполнении работ.

Классические методы усиления несущих конструкций и воссоздания второстепенных элементов не всегда приемлемы для построек начала и середины XIX века. Поэтому, со стороны законодательства ремонтные, восстановительные и реставрационные работы жестко регламентируются действующими нормативными документами [16, 18].

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Согласно ДБН А.2.2-3-2012 «Состав и содержание проектной документации на строительство» [18] ремонтно-восстановленные

работы начинаются с разработки проектной документации на реконструкцию здания (рис. 2). В случае полного взаимодействия и соответствия всех составляющих проекта, возможно получение ожидаемого результата. Особенно тесная связь должна быть между строительными материалами и технологией ремонтно-восстановительных работ, которые будут применяться [11]. Проведем анализ определяющих этапов возобновления исторического здания.

К основным этапам научно-проектных работ относится предпроектное и проектное обследование здания, целью которых является определение технического состояния оснований, отдельных конструкций, причин и характера повреждений несущих и декоративных элементов. Кроме того, определяется степень пригодности и возможности усиления отдельных конструкций, физико-механические свойства строительных материалов, которые использовались изначально. Правильная и своевременная оценка технического состояния здания, выявление дефектов и начала деформаций позволит с минимальным расходом материально-технических и трудовых ресурсов сохранить объект.

Согласно исследованиям В.В. Савйовского и О.Н. Болотских [17], повреждения зданий и их конструкций классифицируют по следующим признакам: причины, которые их вызвали; механизм коррозионного процесса разрушения конструкций; значимость последствий разрушений и трудоемкости их восстановления.

К факторам, которые вызывают повреждения зданий, относятся: внешние природные и искусственные; внутренние; проявление ошибок, допущенных при изысканиях, проектировании и возведении здания; нарушение правил эксплуатации. Кроме того, конструкции зданий и сооружений подвергаются физическому и моральному износу, внешним и внутренним воздействиям различной интенсивности. По механизму влияния на здание, воздействия делятся на физико-химические (радиация, температура, осадки, грозовые разряды), механические (воздушный поток, блуждающие токи, колебания земной коры) и смешанные (биологические вредители, все виды нагрузок).

Как уже упоминалось, основной причиной физического и морального износа храмов, была атеистическая пропаганда власти в период с 1930 г. по 1960 г. и Вторая мировая война [7, 9]. В тот трагический период религиозные здания воспринимали не только традиционные воздействия, но и искусственные механические, такие как подрывы и разборка отдельных строительных конструкций.



Рис. 2. Программа восстановления объекта исторического наследия (православного храма)
Fig. 2. Restoration program of a historical monument (Orthodox Church)

Смена технологического предназначения зданий и нарушение их эксплуатационных условий привела к изменению внутренних факторов воздействий на здания. Следует отметить, что в случае полного прекращения эксплуатации здания, внешние и внутренние факторы воздействия на объект были практически одинаковы. К ним можно отнести перепад температур, осадки (повышение влажности), действие биологических вредителей и воздушных потоков. Причиной для этого служило нарушение или отсутствие изоляционных и/или ограждающих конструкций.

По степени разрушения элементов и степени последствий в целом для православных храмов встречаются все 3 категории повреждений: повреждения аварийного характера, вследствие которых выполняется восстановление отдельных частей здания; повреждение основных элементов не аварийного характера, устраняемые при капитальном ремонте; повреждение второстепенных элементов, устраняемые текущим ремонтом. Техническое состояние строительных конструкций храмов Слобожанщины до начала проведения ремонтно-восстановительных работ представлены в табл. 1.

Исходя из этих данных, общее состояние зданий можно определить к 4 категории (аварийное), но если не брать в расчет отсутствие покрытия, то оно находится на границе нормальной и ограниченной работоспособности. Поэтому после правильной и своевременной оценки

состояния конструкций и основания здания, необходимо спрогнозировать возможное развитие дефектов и разработать мероприятия по их стабилизации или устранению.

По окончании обследования зданий и оценки состояния конструкций следующим важным этапом является правильный подбор строительных материалов для проведения восстановительных работ.

В зависимости от того, какие первоначальные свойства материалов изменяются в результате действия внешних факторов природного или техногенного происхождения, различают две формы изменений – износ и старение. Итак, изучив техническое состояние конструкций и факторы, которые на них воздействовали, имеем следующие результаты. Во-первых, строительные материалы каменных конструкций подверглись в большей мере износу. К основным дефектам кирпичной кладки можно отнести трещины, которые появились в результате изменения конструктивной схемы здания; выветривание и замокание, причиной которого послужило отсутствие защитного слоя отделки. Растворы, используемые для каменных кладок, а именно известковые и цементно-известковые, не утратили своей проектной прочности. Во-вторых, деревянные конструкции куполов и других несущих элементов в большей мере пострадали от нарушения температурно-влажностных условий.

Табл. 1 – Оценка технического состояния строительных конструкций храмов Слобожанщины

Table 1 - Assessment of technical condition of constructions of churches in Slobozhanshchina

Название храма, название населенного пункта	Год постройки	Фундаменты	Стены	Колонны	Барaban	Своды	Покрытие крыши		Отделка (в т. ч. и штукатурка)	Состояние колокольни
							Кровля	Купола		
Церковь Всех Святых, с. Старый Мерчик	1778	2, 3	2, 3	-	2	3	5	5	5	5
Свято-Троицкая церковь, с. Граково	1810	1	2	2	2	3	5	5	5	5
Свято-Вознесенская церковь, г. Старый Люботин	1811	1	3	-	5	5	5	5	5	5
Свято-Николаевская церковь, с. Гиевка	1830	1	2	-	2	5	5	5	5	2, 5
Пантелеймоновская церковь, г. Харьков	1885	3	2	2	5	2	4	4	4, 5	2
Свято-Дмитриевский храм, г. Харьков	1888	2	2	2	5	2	5	5	5	5

Условные обозначения: “1” – нормальное, “2” – удовлетворительное (работоспособное), “3” – непригодное к нормальной эксплуатации (ограниченная работоспособность), “4” - аварийное, “5” – конструкция разрушена

Legend: "1" - normal, "2" - satisfactory (operational integrity), "3" - unfit for normal operation (limited operational integrity), "4" - emergency, "5" - structure is destroyed.

Учет этих данных позволит более эффективно решить задачу правильного выбора реставрационных материалов и изделий.

Следует отметить, что требования к строительным материалам для нового строительства и реставрации далеко не одинаковы. Согласно ДБН В.3.2-1-2004 «Реставрационные, консервационные и ремонтные работы на памятниках культурного наследия» [16] к реставрационным материалам предъявляют такие требования: совместимость со старыми строительными материалами; реверсивность, способность к удалению; отсутствие вредного воздействия на восстанавливаемый объект.

Изучению древних строительных материалов и разработке современных эффективных композитов посвящены труды таких ученых как Клэр Торни, А.М. Ливинского, Ю. М. Стриленко и др. [1, 11, 19].

Вопрос выбора реставрационного материала для возобновления кирпичной кладки на сегодняшний день однозначного ответа не имеет. Это связано с требованиями к реставрационным материалам. Проведенный анализ Клэра Торни среди строительных материалов для реставрации, основан на сравнении двух различных растворов в одинаковых условиях применения [1]. Данные материалы являются базовыми строительными смесями с их стандартным составом и способом производства, т. е. без применения различных добавок, дополнительных пигментов и механических обработок. В итоге, результаты исследова-

ния показали, что хотя оба раствора разработаны для единой цели, они существенно отличаются по физическим свойствам, химическому составу, механизмом схватывания и твердения, что может иметь непредсказуемый эффект спустя десятилетия на участке конструкции, где когда-то выполнялись реставрационные работы.

Весомый вклад во внедрение современных композиций и материалов сделали сотрудники Государственного научно-технологического центра консервации и реставрации памятников [19]. Ими была предложена жидкость СМВ-1 для удаления лакокрасочных покрытий с разных поверхностей (металла, камня, древесины). К ее преимуществам можно отнести щадящее действие на меловую, гипсовую или деревянную основу; снижение ручного труда при удалении старой покраски; выполнение работ на вертикальных поверхностях и потолке.

Еще одним из приоритетных направлений в реставрации памятников культурного наследия есть разработка гидроизоляционных материалов и технологий. В результате естественного старения и накопления солей строительный материал конструкций приобретает свойства повышенного водопоглощения, что приводит к его разрушению. Поэтому, для урегулирования влажностного состояния каменной кладки и выведения солей из нее, А. М. Ливинским предложено применение saniрующих штукатурок. Она обладает такими свойствами как: накопление солей в нижних слоях

системы, тем самым освобождая кладку от чрезмерного количества вредных отложений; снижение увлажнения кладки; предотвращение проникновения атмосферной влаги извне; высокой пористостью и паропроницаемостью.

Для защиты поверхности конструкций от попадания влаги и выветривания возможно использование специально очищенного (отбеленного) натурального воска для мраморных и деревянных элементов. Для каменных конструкций применяют кремнийорганические соединения. Отбеленный воск – пластичная масса, стойкая к действию агрессивной среды. Кремнийорганические составы создают водоотталкивающее покрытие, которое имеет механическую прочность, самоочищается и сохраняет 40-80 % остаточной паро- и гидропроницаемости.

С появлением железобетона, стали, комбинированных конструкций со стали, бетона, дерева (усиление дерева клееными элементами и компонентами) появилась возможность создавать интересные решения купольных объемов. Совершенствование технологии железобетона, а именно использование легких наполнителей, более высоких марок цементов, дало возможность возводить тонкостенные оболочки куполов и сводов, что в значительной мере уменьшило усилия, которые в них возникали. В результате этого размеры и вес конструкций стали меньше, а покрываемые пролеты – больше.

Что касается внутренней и наружной отделки храма, специалисты нередко сталкиваются с такими трудностями как подбор строительного материала, который отвечал бы условию реверсивности и обладал необходимой степенью паропроницаемости. Так, например, современные фасадные краски предназначены для эксплуатации на протяжении длительного периода времени, даже в неблагоприятных климатических и экологических условиях. Это неприемлемо для объекта исторического наследия. А учитывая разницу в степени паропроницаемости материала подлинника и ремонтного состава, при отрицательных внешних температурах внутри изразца будет развиваться избыточное давление, что приведет к отрыву наружной пленки вместе с поверхностными слоями керамической основы. Поэтому целесообразно использовать краски, где базовым составляющим выступает известь с различными, в основном, естественного происхождения, модификаторами. Примером такого материала является известковая краска улучшенного качества для фасадных работ. Она обеспечивает нормальный паро- и воздухо-

обмен, а добавленные модификаторы обуславливают ее высокую адгезию и гидрофобный барьер.

После того как архитекторы и инженеры определились со строительными материалами и их химическим составом, начинается параллельное и взаимоувязанное проектирование конструктивных решений и технологии их реализации. Рассмотрим эти решения от начала укрепления оснований до завершения проведения отделочных работ.

Все ремонтно-восстановительные работы начинаются с определения несущей способности грунтов и их гидрогеологических характеристик. Базируясь на этих данных, в случае необходимости, выбирают те или иные методы усиления (укрепления) грунтов оснований. К наиболее распространенным способам относятся силикатизация, цементация, механическое закрепление и понижение уровня грунтовых вод. Основными факторами для принятия решения являются коэффициент фильтрации и проектная прочность грунтов в сочетании с финансовыми возможностями заказчика, характером повреждения фундаментов и уровня грунтовых вод. После того, как основания приобрели необходимые прочностные характеристики, начинается процесс укрепления фундаментов [17].

Усиление фундаментов может осуществляться следующими группами способов: укреплением различными инъекциями; подведением дополнительных конструктивов или полной заменой; передачей нагрузок на нижележащие слои грунтов.

В случае потери 20 % прочности фундаментов по всей их толщине применяют инъекцирование в тело фундаментов цементных, полимерцементных и других растворов. Порядок проведения этих работ классический. К преимуществам данного метода можно отнести повышение водонепроницаемости, морозостойкости и прочности усиливаемых конструкций. Но возможность применения ее лишь для фундаментов мелкого заложения и наличия хорошего основания является недостатком. Данный метод применялся при усилении фундаментов Свято Дмитриевского храма в г. Харькове (Украина).

Следующим распространенным способом укрепления фундаментов зданий считается увеличение их опорной площади. На примере церкви Святого Николая (с. Мирополье, Украина) рассмотрим данное конструктивное и технологическое решение (рис. 3) [5].

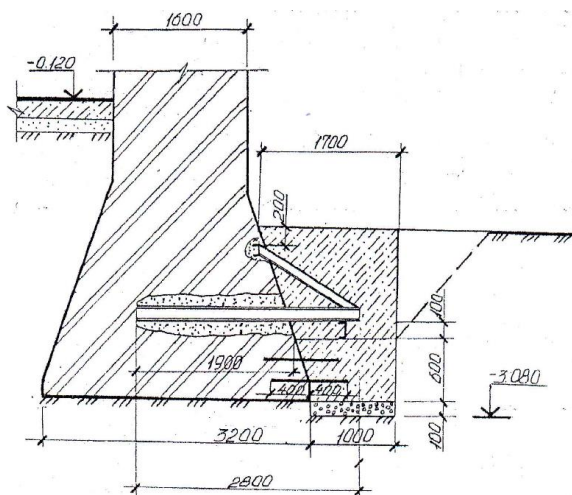


Рис. 3. Схема усиления фундаментов
Fig. 3. Scheme of foundation strengthening

Согласно инженерно-геологическим изысканиям было выполнено уширение фундаментов по всему периметру. Для этого была разобрана отмостка на участке 3,0-3,5 м и отрыта траншея до подошвы фундамента. Боковая поверхность фундаментов была тщательно очищена, выполнено основание под банкет из слоя щебня толщиной 100 мм втрамбованного в грунт. В кладке фундамента были выполнены отверстия в шахматном порядке (с целью улучшения связи старого фундамента с банкетом) в которые были забиты анкерные штыри диаметром 16 мм. До отметки низа распределительных балок было выполнено бетонирование банкета бетоном класса С8/10. После набора бетоном 70% прочности были выполнены отверстия в боковой поверхности фундаментов, в которые были установлены опорные балки. Полки нижних распределительных балок сваривались с полками верхних опорных балок. После этого было выполнено бетонирование бетоном класса С12/15 верхних частей банкета. К особенностям данного метода можно отнести развитие фронта работ на сравнительно коротких захватках в 1,5 – 2,0 м и выемка грунта производится через захватку (для предотвращения выпирания освобожденного от пригруза грунта основания).

К способам усиления фундаментов мелкого заложения входит также подводка конструктивных элементов или их замена. Данный метод используется в случае неравномерной деформации фундаментов, либо при изменении конструктивной схемы здания, к тому же, как правило, только в сухих и маловлажных грунтах. Для выполнения подводки вырывается шурф до проектной отметки и на ширину подводимого фундамента. Затем устраивается арматура и укладывается бетонная смесь.

Достаточно сложными являются работы по подводке фундаментов под отдельно стоящие колонны, простенки. Это связано с появлением внецентренного обжатия кладки и основания. Для

предотвращения этого эффекта, на период проведения усиления конструкции должны быть максимально разгружены. Условиями для оптимального применения данного способа считают: ленточный характер фундамента и отсутствие сосредоточенной нагрузки на него; монолитность укрепляемых стен и фундаментов, регулярную кладку, отсутствие или небольшое количество низкорасположенных проемов и трещин; небольшое заглубление подводимых фундаментов (до 2–2,5 м); низкое стояние грунтовых вод; достаточную несущую способность грунтов основания – не меньше 0,15 МПа.

Для фундаментов с очень большой линейной (или сосредоточенной) нагрузкой на фундамент в сочетании с плохой геологией участка следует применять метод усиления с передачей нагрузки на нижележащие слои грунтов оснований. Таким образом, данный способ приемлем к сооружениям относительно небольшой ширины (до 6 м): крепостным стенам, пилонам, малым башням и колокольням и т.д. Частичное снятие нагрузок и вынос их за пределы существующего фундамента достигается устройством выносных набивных свай. Технология выполнения работ этого способа такова. Ведется разработка грунта до отметки низа ростверка или поперечных балок. Пробурируются шурфы с внешней и внутренней стороны фундамента нужного диаметра и глубины, бетонуются. Затем выполняется весь комплекс работ по опиранию усиливаемого фундамента на вновь установленные конструкции. Ограничивающим фактором служит определенная сложность при проходке ригеля (под фундаментом и сквозь фундамент), размещении буровых машин.

По завершению усиления фундамента начинается укрепление вертикальных наземных несущих конструкций. При восстановлении кирпичной кладки православных храмов следует руководствоваться следующими принципами. В первую очередь, если конструкция кладки была

покрыта масляной краской или керамической плиткой, то их необходимо снять, с применением ранее описанных химических средств, и выполнить работы по консервации. Не следует прибегать к очистке камня стальными щетками и тем более стеской без последующей шлифовки карборундовым камнем. Для очистки поверхности конструкции от выветрившегося камня и раствора необходимо поверхность смазать густым известковым молоком. Когда конструкция будет готова к следующему этапу, укладывается кирпич на комбинированном растворе из портландцемента и извести. Вместо чистого известкового раствора внутри стен, сводов допустимо применять смешанные растворы, которые имеют паро-проницаемость близкую к известковой кладке. Там, где применялся известковый раствор, можно применять портландцемент с обязательной добавкой извести, а при наличии в старых растворах алебаstra – допустимо применение портландцемента тоже с добавкой извести. Заделка швов должна вестись аккуратно, без замазывания кирпича. Швы необходимо устраивать методом чеканки полусухим раствором. Конечно, при восстановлении внешних не облицовываемых стен следует использовать оригинальный раствор конструкции, что сохранит внешний вид здания. Для механизированной заделки швов используют такие же, но только пластические комбинированные растворы и применяют инъекционный насос с плоским наконечником типа брандспойта. При небольших плоскостях заделки швов раствор накладывают на скол, а с него заводят в швы [15].

Характерными работами при восстановлении православных церквей считаются укрепление элементов распорных систем, которые пострадали в результате деформации самого здания. Поэтому проанализируем способы увеличения их прочности или полной замены конструктивной схемы.

Метод восстановления функций утраченного связевого каркаса применялся в Свято Дмитриевском храме г. Харькове (Украина, 2009-2011 гг.). Для уменьшения действия распорных усилий на несущий каркас было предложено установить воздушные связи. Во время расчистки древних каналов, строители обнаружили элементы первичных связей, которые были обрезаны предыдущими владельцами. К закладным деталям были приварены арматурные стержни и выполнен процесс бетонирования каналов, оставив выпуски арматуры с нарезанной правой резьбой. Затем воздушную связь, арматурный стержень с левой резьбой, установили в проектное положение и натянули с помощью талрепов.

Также для снятия распорного усилия возможно применение устройства наружного бандажа, стягивающего опорный контур на уровне пят сводов и выше. Преимущество данного способа над устройством воздушных связей - эстетичность,

так как элементы бандажа находятся с внешней стороны укрепляемой конструкции. Повышение прочности опорного контура свода верхнего яруса также возможно за счет устройства системы монолитных железобетонных поясов [15].

Сложную задачу для проектировщиков представляет восстановление несущей способности деформированных сводов при их провисании, волнообразной деформации и т.д. При расклинке раскрытых швов происходит незначительное увеличение сжатой зоны, что приводит к изменению геометрии свода. Для пластичной кладки (пустошовки, кладки на слабом растворе), в случае отсутствия каких-либо нагрузок, уместно использование метода зачеканки раствором раскрытых швов и трещин. Действие данного способа заключается в стабилизации существующей формы и в повышении сопротивляемости поперечным сдвигам за счет бокового сцепления раствора.

Достаточно эффективным способом изменения геометрии свода служит его «выдавливание» кверху до расчетного рабочего положения с помощью выдвигной опалубки – так называемого зонта. За счет равномерного давления снизу на кладочную конструкцию свода, элементы раздвигаются. Затем производится зачеканка раствором швов и трещин. После окончания работ и набора раствором проектной прочности, опалубка снимается.

Достижение повышения сжатой зоны деформированного свода без изменения геометрии возможно с помощью устройства дублирующего элемента и включение его в совместную работу, которая обеспечивается радиальными стержневыми шпонками и инъекцией существующих зазоров между слоями [15].

Большое количество сохранившихся православных храмов Слобожанщины утратили свои купольные и сводчатые завершения, поэтому целесообразно рассмотреть различные конструктивные и технологические решения для возведения новых пространственных систем покрытий, в т. ч. изучить опыт проектирования данных конструкций в сакральных сооружениях других конфессий. Возведение купольных и сводовых конструкций синагог и католических церквей характеризуются использованием прогрессивных разработок в строительстве. Технологии возведения элементов купольных структур делятся на те, что возведены по кружалам и без них; с помощью подмостей, которые стоят на земле или подвешены к существующим конструкциям; возведенные непосредственно на месте или на строительной площадке и подняты на необходимую отметку для монтажа; выполнены из кирпича, монолитного или сборного железобетона.

Использование облегченных металлических конструкций для ребристых купольных форм имеет ряд преимуществ, таких как упрощенное

возведение внешней оболочки и создание внутренней гладкосферической, параболической либо же пологой поверхности свода. Примером использования данного решения является восстановленный купол Свято Дмитриевского храма в г. Харькове (Украина, 2011-2015 гг.). Его конструкция состоит из 6 металлических ферм установленных на опорные пяты, которые были предусмотрены в монолитном железобетонном поясе барабана. Сборка ферм происходила на крыше храма, где было устроено временное место для выполнения сварочных работ. Затем каждая из конструкций вручную устанавливалась в проектное положение. После получения готового каркаса купола, по наружному поясу фермы была выполнена сплошная обрешётка, а поверх нее покрытие из оцинкованных листов. Устройство внутренней сферической поверхности свода возвели под нижними поясами ферм. Она состоит из гидробарьера, минеральной ваты и гипсокартона (рис. 4). Похожее конструктивное, но иное по технологическим принципам, решение использовалось при возведении купола собор Св. Савы (Сербия, 1980-1990 гг.). Конструкция купола состоит с 24-х ребер металлических ферм граненой структуры, верхний и внутренний пояс которой служат основой для внешней и внутренней оболочки. Особенность этой конструкции

заключается в том, что сборка ее происходила на уровне земли, а затем готовый элемент был поднят на проектную отметку (высота от пола составляла 39,7 м) с использованием подъемников.

Интересным решением применения сборного железобетона в купольных конструкциях было использовано в берлинском соборе Св. Хедвига (Германия, 1950 гг.). Купольная оболочка состоит из 84х железобетонных сегментов собранных на высоте 17 м. Опираие нижних граней этих элементов приходится на монолитное железобетонное кольцо и непосредственно стены собора, а верхних – на кольцо, которое было возведено с подмостей, они же служили опорой для подъемного крана [4].

Использование сборно-монолитного железобетона для возведения конструкций свода диаметром 6, 9, 12, 15 и 18 м было предложено в НУ «Львовская политехника» (Украина). Эта технология внедрена в церкви Рождества Пресвятой Богородицы в Новом Розоле (Украина, 2001-2006 гг.) Предложенная конструкция состоит их 3х основных компонентов: сборные элементы нижнего опорного кольца, сборные консольные ребристые плиты и сборные элементы верхнего опорного кольца. Все компоненты конструкции полусферического свода объединяются с помощью болтовых или сварных соединений.

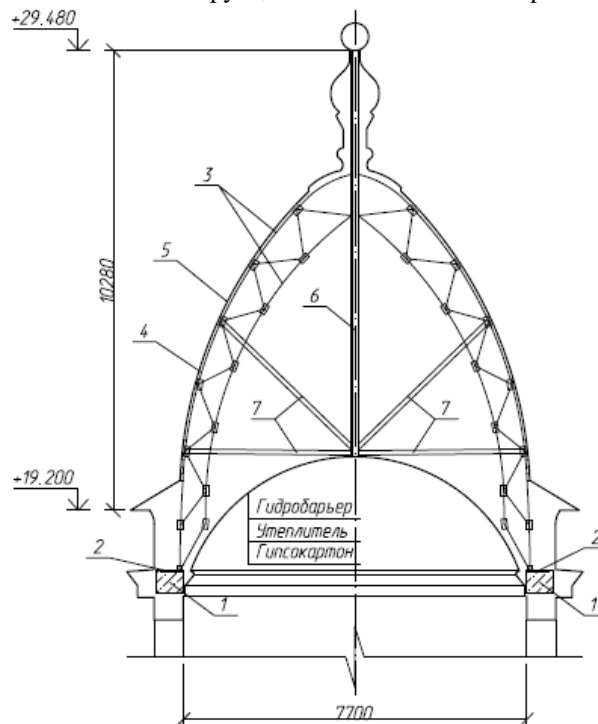


Рис. 4. Конструктивная схема купольной конструкции: 1 – монолитный пояс; 2 – закладная деталь металлической пяты; 3 – пояса фермы; 4 – сплошная обрешётка; 5 – листы оцинкованной стали; 6 – центральная мачта Креста; 7 – подкосы.

Fig. 4. The structural layout of the dome structure: 1 - monolithic belt; 2 - embedded item; 3 - chords; 4 - sheathing; 5 - sheets of galvanized steel; 6 - the central tower of the Cross; 7 - struts.

Рабочее армирование (радиальное и кольцевое) закладывается в швы между плитами и замоноличивается. Преимущества данной конструкции над монолитной: увеличение качества и надежности монтируемых конструкций; возможность выполнения работ круглогодично; применение разнообразных утеплителей (плитных, насыпных), которые могут устраиваться между полками ребристых плит; возведение конструкций без использования подмостей. В свою очередь, недостатками остаются те же, что и для всех сборных железобетонных элементов [4].

Современные технологии обработки и комбинирование деревянных конструкций, в частности разновидность клееных деревянных балок, арок и ферм, увеличивают их область применения для восстановления купольных конструкций. Примером использования клееных сегментных балок как несущих купольных конструкций является костел Ченстоховской иконы Божьей Матери в Плоцке (Республика Польша, 1994-1997 гг.). Этот параболический объем венчает параболического очертания фонарь.

Совершенно новый подход к вопросу восстановления сводов имеет современная архитектурно-конструктивно-технологическая система (АКТС) «ГИТОР», разработана под руководством М.И. Колякова [3]. Она предназначена для быстрого создания криволинейных форм ограждающих конструкций, в т. ч. куполов православных храмов. Данный метод

использовался для строительства купола над крестильной в г. Златоуст (Украина, 1992 г.), а также при возведении цилиндрического свода (размером 4 x 5 м) и стрельчатого купола Мусульманского центра в г. Киеве (Украина, 1999 г). Последний был стрельчатой формы, диаметром 11,06 м, высотой 6 м. Квинтэссенция этого решения заключается в создании формирующей поверхности с армированными термопакетов, которые изготовлены с эффективного утеплителя, для дальнейшего торкретирования гипсобетоном на строительной площадке. Продолжением исследования АКТС «ГИТОР» стало создание новой конструкции трехслойных куполов «ГИПСОПЛАСТОН», которые состоят из внутреннего слоя – листового материала (гипсокартон, фанера), среднего слоя – плитного утеплителя и внешнего слоя – монолитного торкрет-бетона на гипсовом или цементном вяжущем (рис. 5). Таким образом, внутренний слой купола после возведения, выполняет функцию основы для отделки, средний для – утеплителя, а наружный для – воспринимает эксплуатационные нагрузки.

Достаточно широкого распространения набирает конструктивное решение возведения пространственных тонкостенных конструкций двойной кривизны с использованием монолитного железобетона. Согласно технологии строительного производства, для их устройства существует 2 распространенных метода: торкретирование и с использованием опалубки.

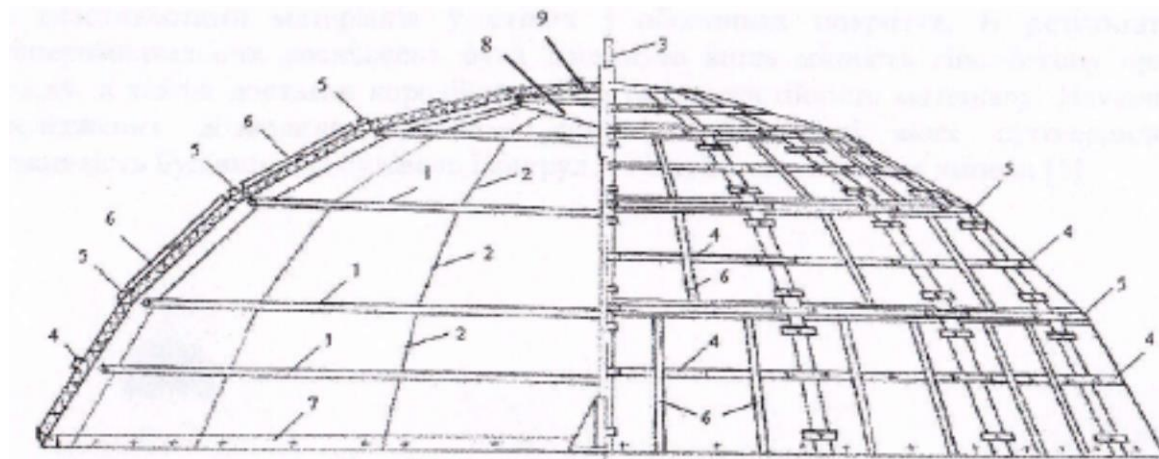


Рис. 5. Сборная часть экспериментального купола: 1 - кольцо тросо-кольцевого оснащения; 2 - металлический трос оснащения; 3 - центральная стойка; 4 - деревянный пояс посередине трапеzieвидных элементов купола; 5 - деревянный пояс в кольцевом шве; 6 - деревянные усиливающие элементы; 7 - деревянное опорное кольцо; 8 - центральное монтажное кольцо; 9 - пластина

Fig. 5. Team of the experimental dome: 1 – ring rope-ring equipment; 2 - metal cable equipment; 3 - center stack; 4- wood fillet in the middle trapezoidal elements of dome; 5 - a wooden ring belt in the seam; 6 - wooden reinforcement elements; 7 - wooden reference ring; 8 - the central mounting ring; 9 – plate

Сущность торкретирования заключается в том, что мелкозернистая бетонная смесь подается снизу к месту укладки (2 слоя металлической сетки по сварной металлоконструкции свода) под давлением сжатого воздуха. Свободно проходя через двойной нижний слой крупнозернистой сетки (2,0-2,0), бетонная смесь (С16/20) задерживается у второго слоя мелкозернистой сетки (2-0,6), прикрученной скрутками из проволоки к каркасу из арматуры (\varnothing 16 А240), приваренной к основному каркасу с шагом (200 мм). Для небольших поверхностей укладка смеси может вестись вручную по типу штукатурки. Торкретирование ведется слоями 15-50 мм в зависимости от положения поверхности (потолочная или вертикальная). Для выравнивания поверхности цилиндрического свода ниже слоя крупнозернистой сетки привариваются прутки (\varnothing 10мм с шагом 1 м), служащие направляющими для правил, которыми снимается лишний слой бетонной смеси [10].

В случае бетонирования традиционным методом с использованием опалубки, технологическая последовательность процесса следующая: устройство временного перекрытия под местом возведения свода на опорных башнях; установка индивидуальных арочных конструкций, радиус изгиба которых соответствует радиусу изгиба монолитных конструкций; устройство внутренней и наружной палубы из водостойкой фанеры (толщина 15 мм) с помощью специальных крепежных элементов; укладка бетонной смеси и ее уплотнение; демонтаж опалубки и поддерживающих конструкций после набора бетоном 70-100% прочности от проектной [13]. Данным методом возводился свод купола Пантелеймоновской церкви в Харькове (Украина, 1998-2001 гг.) [6].

Завершающим этапом восстановления православного храма или исторического здания является выполнение отделочных работ, в которые входит реставрация фасадной штукатурки и их окраска [15, 17]. Технология производства штукатурных работ традиционная.

Окраска фасадов начинается только при завершении всех остальных реставрационных работ. Перед началом окраски фасадов должны быть выполнены пробные выкраски размером 20×20 см – для уточнения и согласования цвета с ведущим архитектором. Окраска по новой штукатурке разрешается не ранее, чем через 1 месяц после выполнения штукатурных работ. Перед окраской необходимо огрунтовать оштукатуренные поверхности водорастворимой грунтовкой. Технология выполнения окрасочных работ традиционная.

ВЫВОДЫ

Количество и состояние полуразрушенных православных храмов Украины, и всего

постсоветского пространства, свидетельствует о возможности их возвращения к использованию по первичному назначению. К тому же, они все являются памятниками исторического наследия.

Проведенный анализ отображает многогранность вопроса восстановления православных храмов, который включает в себя подготовку проектной документации, выбор строительных материалов, разработку конструкторских решений и выполнение ремонтно-восстановительных работ. Принятие обоснованного и технически корректного решения для проведения ремонтно-реставрационных работ позволит не только сохранить объект исторического наследия, но и использовать его согласно истинному функциональному назначению.

Постоянное усовершенствование строительных материалов и конструкций способствует развитию организационно-технологических решений по выполнению работ. Следует отметить, что производство работ по ремонту исторических зданий очень трудоемкий, длительный и, зачастую, дорогостоящий процесс. Поэтому, разработка эффективных организационно-технологических решений позволит минимизировать эти недостатки путем внедрения средств малой механизации, оптимизации объектных потоков и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Clare T., Forster A., Szadurski E., 2014. Specialist 'restoration mortars' for stone elements: a comparison of the physical properties of two stone repair materials // *Heritage Science*. – 12.
2. Goncharenko D., 2004. The restoration of Orthodox Churches in Slobozancsina, Ukraine // *World Journal of Engineering*. Sun Light Publishing Canada. - vol. 1. - N 1. - 25-34.
3. Болдар О., 2003. Застосування АКТС «ГІТОР» і «ГПСОПЛАСТОН» у практиці культового будівництва КиївЗНДІЕП // *Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель ; Сучасне храмобудування: Зб. наук. пр.; Спец. вип. / Український зональний науково-дослідний і проектний ін-т по цивільному будівництву, ВАТ КиївЗНДІЕП / В. Шевельов (голов.ред.)*. — К.: КиївЗНДІЕП. — 96.
4. Гнідець Р., 2009. Архітектура українських церков. Конструкція і форма: навч. посібник. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». – 144.
5. Гончаренко Д., Колодяжный С., 1990. Восстановление Церкви Святого Николая в с. Мирополье Сумской области // *Науковий вісник будівництва*. - № 7. - 76-83.
6. Гончаренко Д., Новгородов В., Колодяжный С., 1999. Восстановления православных церквей Слобожанщины // *Академія*

- будівництва України. - № 6. - 65-71
7. Жван В., 2013. Історія відновлення та будівництва церков Харківської єпархії. - Х.: Клуб сімейного дозвілля. - 334.
 8. Здания, сооружения и комплексы православных храмов: СП 31-103-99, 1999. - [Действителен от 1999-12-27]. - М.: АХЦ «Арххрам». – 38.
 9. Зруйновані храми і монастирі України: Анотований показчик обласного та районного рівня / Упоряд. Кривошия В., Буряк Л., Киридон А. та ін. - К.: Мистецтво, 2013. - 608.
 10. Кеслер М., 2003. Православных храмы: МДС 31-9.2003. В 3 т. - М.: АХЦ «Арххрам». – Т. 2: Православные храмы и комплексы: пос. по проектированию и строительству (к СП 31-103-99).
 11. Лівінський О., Стоян О., 2010. Правила ведення науково-реставраційних робіт // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Т. 9. - № 2. – 101-106.
 12. Лучковский И., Есакова С., 2014. Экспериментальное обоснование расчетной модели горизонтально нагруженных свай с экспоненциальным распределением коэффициента жёсткости основания // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – V. 16, № 6, 109-116.
 13. Обухов А., Леонович С., Бурсов Н., 2015. Технология возведения храмовых сооружений из монолитного железобетона в современных опалубочных системах // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: сборник Международных научно-технических статей (материалы научно-методической конференции), 27–28 мая 2014 г. В 2 ч. Ч. 2 / ред. колл.: В. Зверев, С. Коледа, С. Делендик. – Минск : БНТУ. – 58 -74.
 14. Парманов А., 2007. Православные храмы и монастыри Харьковской губернии 1681-1917 гг. Альбом-каталог. - Х.: ПК ЧП "Ома-Пак". - 351.
 15. Подъяпольский С., Бессонов Г., Беляев Л., Постникова Т., 1988. Реставрация памятников архитектуры. - М.: Стройиздат. - 264.
 16. Реставраційні, консерваційні та ремонтні роботи на пам'ятниках культурної спадщини: ДБН В.3.2-1-2004, 2005. - [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Укразбудінформ. – 123.
 17. Савйовський В., Болотских О., 1999. Ремонт и реконструкция гражданских зданий. - Х.: ВАТЕРПАС. – 288.
 18. Склад та зміст проектої документації на будівництво : ДБН А.2.2-3-2012. [Чинний від 2012-07-01]. – К.: Укразбудінформ, 2012. – 26.
 19. Стріленко Ю., Гуцуляк Р., Поляцькова Н., 2003. Технологічні аспекти та матеріали для проведення реставраційних робіт // Будівництво України. - № 6. - 39-42.
 20. Филарет (Гумилевский), 2005. Историко-статистическое описание Харьковской епархии. В 3 т. - Х.: Факт. - Т. 1. - 247.

FEATURES ERECTION OF CORROSION MINE SHAFTS DEEP FOUNDATIONS ON EXISTING NETWORKS OF WATER REMOVALS

Summary. The article highlights a comprehensive approach to engineering problems restoring places of worship, including the Orthodox churches. The problems of creating the project documentation, the prerequisites for an existing damage and deformation of buildings, restoration building materials and construction, methods for performing repair work.

Key words: the restoration of churches, repair and restoration work, the restoration building materials, reinforcement of structures.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Степан Эпоян¹, Юрий Штонда,² Алексей Зубко², Сергей Шаляпин,
Татьяна Шаляпина, Ирина Штонда³.

¹Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40

vkg.knuca@ukr.net

²ООО «ЭКВИК»

Украина, 61070, г. Харьков, ул. Сокольники, 3

shtonda-yurij@yandex.ua

zubko@ekvik.com

³ООО «Харьковская электротехническая компания»,

Украина, 61072, г. Харьков, пр. Ленина, 60

vodogray@helco.com.ua

shtonda@i.ua

Аннотация. Приведены результаты исследований по очистке сточных вод промышленных предприятий от поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, сточная вода, аэрация, активированный уголь, синтетические поверхностно-активные вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей среды представляет собой весьма многогранную проблему, решением которой занимаются, в частности, инженерно-технические работники всех специальностей. Это связано с хозяйственной деятельностью в населенных пунктах и на промышленных предприятиях, которые являются источником загрязнения воздушной и водной среды.

Повышение эффективности охраны окружающей среды, связано, прежде всего, с широким внедрением энергосберегающих малоотходных и безотходных технологических процессов. Постоянно разрабатывались и разрабатываются новые способы и технологии очистки сточных вод [1,3, 7, 10, 14, 23].

Содержащиеся в сточных водах различных производств токсичные компоненты даже при наличии достаточной очистки могут загрязнять природные водоемы вследствие нарушения технологических режимов обработки сточных вод, залповых сбросов и других, часто непредсказуемых, факторов [19, 26].

Повышение эффективности работы канализационных очистных сооружений в современных условиях чрезвычайно важно как в Украине, так и во всем мире. Поступление неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в природные водоемы представляет опасность для окружающей среды.

Повсеместное применение в качестве моющих средств синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) привело к интенсивному загрязнению поверхностных водоемов трудно разлагаемыми токсичными соединениями, которые оказывают отрицательное действие на населяющие водоемы флору и фауну.

Накапливаясь в водоемах синтетические поверхностно-активные вещества, ухудшают органолептические показатели воды, а также препятствуют процессам самоочищения водоемов.

Синтетические поверхностно - активные вещества встречаются в сточных водах практически всех промышленных предприятий. Они широко применяются в качестве моющих средств, эмульгаторов, стабилизаторов эмульсий и суспензий и т.п. Очистные сооружения большинства промышленных предприятий не имеют специального оборудования, необходимого для извлечения синтетических поверхностно-активных веществ. В результате чего синтетические поверхностно-активные вещества, либо сбрасывают в канализацию, затрудняя работу коммунальных очистных сооружений, либо - в поверхностные водоемы, вызывая гибель флоры и фауны. Сверхнормативные сбросы синтетических поверхностно-активных веществ, приводят к наложению штрафных санкций на предприятия, которые нарушают требования охраны окружающей среды.

Специфические свойства синтетических поверхностно-активных веществ, вызывают большие затруднения при очистке сточных вод биохимическим путём. Синтетические поверхностно-активные вещества, попадая на очистные сооружения, оказывают тормозящее влияние на процессы очистки. Эффект осаждения сточных вод, загрязненных синтетическими поверхностно-активными веществами, уменьшается на 7-10%, наблюдается нарушение работы биофильтров при концентрации синтетических поверхностно - активных веществ, свыше 15 мг/л, а содержание синтетических поверхностно-активных веществ более 5-10 мг/л оказывается токсичным для активного ила аэротенков. При сбраживании осадков, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества, в метантенках, уменьшается выход метана, что объясняется понижением степени распада органических веществ. Даже, наличие, в воде небольших концентраций синтетических поверхностно - активных веществ, (0,8 – 2 мг/дм³) вызывает обильное пенообразование, нарушает кислородный обмен в водоемах, тормозит

процессы фотосинтеза, сокращает кормовую базу рыб и других обитателей водоёмов. Способность синтетических поверхностно-активных веществ, накапливаться в организме приводит к снижению иммунитета, вызывает аллергии и болезни внутренних органов человека.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Синтетические поверхностно-активные вещества, (детергенты) содержат 15-30% поверхностно-активных веществ, большое количество полифосфатов, отбеливающих и пахучих веществ.

Детергенты, попадая со сточными водами в водоемы, вызывают вспенивание, ухудшают органолептические свойства воды, нарушают процессы обмена кислорода, токсически действуют на фауну.

Очистка сточных вод, загрязненных синтетическими поверхностно-активными веществами, может производиться физико-химическими и биохимическими методами.

Одним из эффективных методов, является коагуляция с применением в качестве коагулянта солей цинка. При использовании обычных коагулянтов содержание поверхностно-активных веществ уменьшается только на 20-30%.

Применение физико-химических методов является целесообразным, прежде всего при предварительной очистке сточных вод отдельных предприятий, когда концентрация синтетических поверхностно-активных веществ, в сточных водах значительна (сточные воды текстильных фабрик, фабрик переработки шерсти, заводов синтетического каучука).

Очистка сточных вод, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества, в небольших количествах, производится методами биохимического разложения. В связи с этим расширяется производство синтетических поверхностно-активных веществ, легко поддающихся биохимическому окислению, например, эфиров, сахарозы, алкилбензолсульфонатов, сульфированных жирных кислот и др.

При биологической очистке сточных вод, загрязненных синтетическими поверхностно-активными веществами, определяющим условием является их способность к биохимическому распаду. Учитывается также влияние высокой поверхностной активности синтетических поверхностно-активных веществ, на процесс растворения кислорода, так как недостаточная обеспеченность процесса кислородом негативно сказывается на развитии активного ила даже при поступлении на биологическую очистку в аэротенках только «биологически мягких» синтетических поверхностно-активных веществ.

В настоящее время для очистки сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ, применяются следующие методы:

- очистка на активированных углях (адсорбция),
- очистка при помощи ионообменных смол и полимерных адсорбентов,

- очистка сточных вод коагуляцией,
- очистка сточных вод флотацией (пенообразованием),
- электрохимическая очистка,
- биохимическая очистка,
- окисление.

Каждый из этих методов обеспечивает приемлемый уровень очистки сточных вод, и может применяться как отдельно, так и в сочетании с другими методами. Выбор технологии очистки осуществляется исходя из конкретных условий эксплуатации и особенностей работы очистного оборудования. Главными критериями, обеспечивающими выбор того или иного метода очистки, являются достаточная эффективность очистки воды, низкая себестоимость эксплуатации очистного оборудования, его простота и надёжность в работе.

Адсорбционные методы [1, 2, 4, 5, 7, 8, 17, 23] чаще применяются на стадиях доочистки и являются наиболее эффективными при использовании материалов с высокой адсорбционной активностью. Адсорбция является достаточно простым технологическим процессом, в отличие от химических и биологических методов, может быть реализована при высоких скоростях потока очищаемых сред.

Для адсорбции синтетических поверхностно-активных веществ, и их производных также, используют искусственные и естественные пористые материалы: кремнезем, апатиты, цеолиты, глины, алюмосиликаты. Наиболее часто применяют адсорбенты на основе углерода. Это активированные угли (АУ) из различных видов сырья (лигнин, древесина, скорлупа орехов, ископаемые угли), углеродные гидроцеллюлозные волокна, полученные из нефтяного пека, нанотрубки. Их получают методами физической или химической активации. В последние годы расширение сырьевой базы АУ происходит за счет утилизации промышленных, бытовых и других отходов, т.е. за счет использования не природного, а технического сырья, и изготовление на его основе новых видов адсорбционных материалов.

Активированные угли обладают высокой адсорбционной способностью по отношению к органическим соединениям с низким молекулярным весом, в частности, по отношению к фосфору [11, 12, 15, 16].

Использование метода адсорбции для этих целей является достаточно эффективным и целесообразным. Но при всей его перспективности использования, реализация его в промышленном масштабе ограничена и зачастую оказывается экономически затратной из-за его относительно высокой стоимости, которая определяется, в первую очередь, затратами на регенерацию сорбентов. К тому же надо учитывать необходимость пополнения потерь угля от обжига и стирания в каждом цикле регенерации.

В связи с этим актуальным становится поиск более эффективной и экологически безопасной технологии, которая бы позволила увеличить ресурс работы адсорбционного фильтра без термообработки и дополнительных экономических затрат. Существенные перспективы для реализации такого задания открываются

в случае активизации в слое активного угля микробных процессов.

Применение метода флотации для очистки сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ, эффективно применяется для предварительной локальной очистки сточных вод кожевенных заводов. Метод флотации обеспечивает значительное снижение содержания в них механических примесей, сульфидов, хрома, синтетических поверхностно-активных веществ, жиров и органических веществ.

Продолжительность пребывания сточной воды во флотаторе 1 – 1,5 ч. Расход воздуха при диспергировании его в сточной воде с помощью фильтров 10-12 м³/(м²·ч), при напорной флотации 2-3% расхода перекачиваемой воды. При двухступенчатой флотации сточная вода на I ступени подкислялась серной кислотой до pH=4,5÷5, на II ступени подщелачивалась известью до pH=8,5÷9,5. При одноступенчатой флотации применялись сернокислородное железо – 1 г/л и известь – 0,8 г/л [23 - 25].

В результате предварительной локальной очистки концентрация сульфидов в общих сточных водах кожевенных заводов снизилась до 15-20 мг/л.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы была разработка технических решений по усовершенствованию работы канализационных сооружений для повышения эффективности очистки промышленных сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ.

Для очистки сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ, наиболее соответствует технология, основанная на последовательном применении флотационной очистки, фотохимического окисления и доочистки воды на активированных углях. Данная технология была применена для очистки сточных вод прачечного комбината Приднепровской железной дороги.

В частности, только один прачечный комбинат Приднепровской железной дороги до недавнего времени ежегодно, сбрасывал в городскую канализацию более 0,25 тонн синтетических поверхностно-активных веществ, что влекло наложение на него штрафных санкций более 1 млн. гривен в год.

Сточные воды от стиральных машин, после каждой операции: стирки, первичного полоскания, вторичного полоскания, отжима, отводятся из машин в виде залповых сбросов. При этом после каждой операции сточные воды имеют разную степень загрязнённости, в том числе и по синтетически поверхностно-активным веществам (наибольшая концентрация синтетических поверхностно-активных веществ в сточной воде наблюдается после стирки, и уменьшается с каждым полосканием). В связи с этим, перед подачей сточных вод на локальные очистные сооружения, необходимо осуществлять усреднение сточных вод по расходу и концентрации. Усреднённые показатели сточных вод прачечных комбинатов железной дороги приведены в таблице 1.

Согласно требованиям Запорожского городского водоканала, содержание синтетических поверхностно-активных веществ, сбрасываемых в городскую канализацию сточной воде, не должно превышать 0,7 мг/дм³. Как видно из таблицы 1, сточная вода прачечного комбината не соответствует данным техническим требованиям. Концентрация загрязнений синтетических поверхностно - активных веществ, в сточной воде превышает нормативные показатели в 13,8 раз.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для удаления из сточных вод, прачечной железнодорожного депо «Запорожье – 1» Приднепровской железной дороги, синтетических поверхностно-активных веществ до требований Запорожского городского водоканала, разработана технологическая схема и изготовлена установка очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ [18, 20, 21]. Установка ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ состоит из двухступенчатого флотатора, реактора для фотохимического окисления синтетических поверхностно-активных веществ, безнапорного фильтра с загрузкой активированным углём, а также вспомогательного ёмкостного и насосного оборудования. Основные технические параметры, станции очистки сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ, приведены в таблице 2.

Таблица 1. Усреднённые показатели сточных вод прачечных комбинатов железной дороги
Table 1. Averages laundry wastewater washhouse plants railway

№	Показатель	Значение
1	Взвешенные вещества, мг/дм ³	≤ 81
2	ХПК, мг/дм ³	≤ 125,0
3	СПАВ, мг/дм ³	≤ 9,67
4	Фосфаты, мг/дм ³	≤ 9,0
5	Водородный показатель pH	6,5 – 7,9
6	Хлориды, мг/дм ³	107,0
7	Сульфаты, мг/дм ³	192,0

Таблица 2. Технические параметры установки «ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ»
Table 2. Technical parameters of the device «ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ»

№	Параметры	Значение
1	Производительность, м ³ /сут	150
2	Коэффициент неравномерности поступления сточных вод, %	15
3	Мощность, кВт не более	7
4	Расход коагулянта, г/м ³	200 – 350
5	Расход флокулянта, г/м ³	1,5
6	Электропитание	380/220 В, 50 Гц

На первой ступени очистка сточных вод осуществляется методом безнапорной флотации с применением процессов коагуляции и флокуляции. Применение коагулянтов и флокулянтов основано на ослаблении этими реагентами гидрофильных особенностей поверхности взвешенных частиц, что обеспечивает эффективное прилипание взвешенных частиц к воздушным пузырькам и облегчает их удаление из воды в процессе флотации. При выборе необходимых реагентов был сделан упор на те, которые изготавливаются в Украине и обеспечивают наиболее эффективную очистку сточных вод. Так, после проведения анализа и пробного тестирования были подобраны коагулянт Pro-Aqua -18 (ITS WATER AC-140) и флокулянт EXTRAFLOCK № 195, которые выпускаются ОАО «Пологовский химический завод «Коагулянт» (Запорожская область). Основные характеристики коагулянта Pro-Aqua -18 (ITS WATER AC-140) приведены в таблице 3, а основные характеристики флокулянта EXTRAFLOCK № 195 приведены в таблице 4.

Флотатор, в котором производится первичная очистка сточных вод, выполнен из двух последовательно соединённых флотационных камер. В первую флотационную камеру (барботажная камера) из приёмника-усреднителя при помощи насоса подаются неочищенные сточные воды. В эту же камеру, при помощи дозирующих насосов подаются водные растворы коагулянта и флокулянта [9, 13, 17, 22]. Процесс флотации осуществляется при помощи воздуха, подаваемого из компрессора. Образовывающаяся в процессе флотации пена, в которой содержится основное количество синтетических поверхностно - активных веществ и взвешенных частиц, удаляется с поверхности зеркала воды гидравлическим методом (направленными струями очищенной воды) в пеноотводящий лоток и далее, через специальные трубопроводы, отводится в отстойник

Таблица 3. Технические характеристики коагулянта Pro-Aqua - 18
Table 3. Specifications coagulant Pro-Aqua - 18

№	Параметр	Значение
1	Состав	Al ₂ O ₃
2	Концентрация, %	17
3	Плотность, г/см ³	1,37
4	Водородный показатель pH	≤ 2

Таблица 4. Технические характеристики флокулянта EXTRAFLOCK № 195
Table 4. Specifications flocculant EXTRAFLOCK № 195

№	Параметр	Значение
1	Основа	Полиакриламид
2	Вид	Порошкообразный
3	Растворимость	Водорастворимый

Вторая камера флотации предназначена для более глубокой очистки сточных вод. Основным её назначением является увеличение времени контакта сточных вод с воздухом и добавленными в воду реагентами. Применение двухступенчатой флотационной очистки позволяет существенно сократить количество используемого коагулянта и обеспечить более глубокую очистку сточных вод.

После флотации, осветленная сточная вода поступает в фотохимический реактор (УФР), где производится фотохимическое окисление синтетических поверхностно-активных веществ, которые остались в осветленной сточной воде. В результате фотохимического окисления часть анионных и неионогенных синтетических поверхностно-активных веществ подвергается деструкции с образованием нерастворимого осадка, который удаляется в безнапорном фильтре с загрузкой из активированного угля. Очищенная вода поступает в накопитель (резервуар очищенной сточной воды), откуда сбрасывается в городскую канализацию или может направляться на повторное использование для технологических нужд. Образующийся в процессе работы установки осадок, по мере его накопления, удаляется из отстойника и вывозится на полигон твёрдых бытовых отходов. Промывка фильтра осуществляется из резервуара очищенной сточной воды при помощи центробежного насоса. Основные показатели очищенных сточных вод, от прачечного комбината Приднепровской железной дороги после очистки их на установке ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ, приведены в таблице 5.

Эффективность очистки сточных вод от прачечного комбината Приднепровской железной дороги на установке ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ, приведена в таблице 6. Эффективность очистки сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ без применения реагентов всего лишь на 10% превышает ПДК, что показывает правильность выбора технологического решения.

Опыт промышленной эксплуатации разработанной установки ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ показал правильность выбора основных технологических решений, которые обеспечивают высокую степень очистки сточных вод прачечного комбината от синтетических поверхностно-активных веществ (более 94%), при минимальных эксплуатационных расходах. Установка может эксплуатироваться в автоматическом режиме без постоянного обслуживания [6].

Таким образом, применение установки ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ, для очистки содержащих синтетические поверхностно-активные вещества сточных вод, позволяет уменьшить содержание в очищенной сточной воде взвешенных частиц – в 13,5 раз, ХПК – в 6,4 раза, СПАВ – в 17,6 раз. При этом, наблюдается некоторое увеличение содержания в очищенной сточной воде сульфатов и хлоридов, что не сказывается на качестве очищенных сточных вод, и соответствует требованиям ПДК на сброс в городскую канализацию.

Таблица 5. Основные показатели очищенных сточных вод после очистки их на установке «ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ»

Table 5. The main indicators of sewage after purification of the device «ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ»

№	Показатель	Сточные воды прачечного комбината		Технические требования к сбрасываемым в городскую канализацию сточным водам (ПДК), мг/л
		без применения коагулянтов и флокулянтов	с использованием коагулянтов и флокулянтов	
1	Взвешенные вещества, мг/дм ³	60,4	6,0	162,0
2	ХПК, мг/дм ³	28,5	19,5	360,0
3	СПАВ, мг/дм ³	0,77	0,55	0,7
4	Фосфаты, мг/дм ³	≤ 0,05	≤ 0,05	9,0
5	Водородный показатель рН	7,47	7,35	6,5 – 9,0
6	Хлориды, мг/л	107,8	136,1	≤ 350
7	Сульфаты, мг/л	154,0	180,0	≤ 400

Таблица 6. Эффективность очистки сточных вод от СПАВ на установке «ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ»
 Table 6. The efficiency wastewater treatment synthetic surface-active substance of the device «ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ»

№	Показатель	Эффективность очистки сточных вод прачечного комбината, %	
		без применения коагулянтов и флокулянтов	с использованием коагулянтов и флокулянтов
1	Взвешенные вещества, мг/дм ³	8,5	92,6
2	ХПК, мг/дм ³	77,2	84,4
3	СПАВ, мг/дм ³	92,0	94,3

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате проведенных исследований в производственных условиях по очистке сточных вод промышленных предприятий от поверхностно-активных веществ можно сделать следующие выводы:

1. Учитывая особенности эксплуатации систем и сооружений водоотведения, разработанные технологические схемы позволяют повысить эффективность работы механической и биологической очистки сточных вод от содержащихся в них синтетических поверхностно - активных веществ.

2. Использование на локальных очистных сооружениях промышленных предприятий установок ВОДОГРАЙ® В150-Ф/СПАВ, позволяет очистить сточные воды от содержащихся в них синтетических поверхностно - активных веществ и также обеспечивает их рациональную эксплуатацию и экологическую надежность.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеева Е., 2007. Физико-химическая очистка сточных вод. – М.: Ассоциация строительных вузов. – 248.
- Биосорбция в процессах очистки природных и сточных вод / Н. Клименко, Н. Антонюк, Л.Невинная [и др.], 2000 // Химия и технология воды. – Т. 22, №1. – 37-55.
- Борисов Б., Кравцова Г., 2010. Вугільно-гранодіоритні фільтри в одноступеневих технологіях водоочищення. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, VI міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 06-10 вересня 2010 р, Збірник наукових статей. Харків: «Райдер». - Т. 1. - 245 – 247.
- Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник / [О. Василенко, С. Епоян, Г. Смірнова та ін.], 2012. – Київ-Харків: КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив. – 540.
- Воронов Ю., 2009. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциация строительных вузов. – . 760.
- Зубко А., Штонда Ю., Шаляпин С., Штонда И., Шаляпина Т., 2015. Очистка сточных вод прачечного комбината от поверхностно-активных веществ. // Виробничо – практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – Київ. - №2/15. – 21-25.
- Исаева Л., Тамаркина Ю., Грибанова А., Шендрик Т., 2012. Адсорбция из водных растворов фенола и его производных углеродными адсорбентами. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, VIII міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 10-14 вересня 2012 р, Збірник наукових статей. Харків: «Райдер». - Т. 1. – 270 – 275.
- Канализация населенных мест и промышленных предприятий / [Н. Лихачев, И. Ларин, С. Хаскин и др.], 1981; под общ. ред. В. Самохина. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат. –639. – (Справочник проектировщика).
- Кичигин В., 1994. Аэрация загрязненной воды коагуляцией: [учебное пособие] / В.И. Кичигин. – М.: АСВ. – 100.
- Кравченко О., Кравченко О., Скупченко В., Глоба Л., 2005. Основні проблеми очищення стічних вод в сучасних умовах // Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація (ЕТЕВК-2005): міжнар. конгр., 24-27 травня 2005 р.: зб. доп. – Ялта. - 354-359.
- Кузнецов П., Кузнецова Л., Кутихина Е., 2008. Влияние декатионирования бурого угля Канско-Ачинского бассейна на физико-химические свойства получаемых сорбентов // Химия твердого топлива. – №3 – 30-37.
- Кульский Л., Накорчевская В., 1983. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод– К.: Вища шк. Головное издво. – 240.
- Мацнев А., 1976. Очистка сточных вод флотацией. – К.: Будівельник. –132.
- Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов / [Э. Разумовский, Г. Медриш, В. Казарян], 1986. Изд. 2-е перераб. И доп. – М.: Стройиздат. – 176.

15. Передерий М., Носкова Ю., 2008. Получение углеродных сорбентов из некоторых видов биомассы // Химия твердого топлива. – №4. – 30-36.
16. Смолин С., Забнева О., Швиденко О., 2009. Очистка сточных вод от ароматических соединений // Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація (ЕТЕВК-2009): міжнар. конгр., 01-05 июня 2009 р.: зб. доп. – Ялта. – 249-251.
17. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підручник / [А. Запольський, Н. Мішкова-Кліменко, І. Астрелін та ін.], 2000. – К.: Лібра. – 552.
18. Штонда Ю., Шаляпин С., Штонда И., Шаляпина Т., 2013. Обеззараживание сточных вод на локальных очистных сооружениях. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, IX міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 09-13 вересня 2013 р, Збірник наукових статей. Харків: «Райдер». – Т. 1. – 282 – 287.
19. Штонда Ю., Зубко А., 2010. Интенсификация очистки сточных вод на малогабаритных очистных сооружениях Крыма. // ВСТ. Водоснабжение и Санитарная Техника – Москва – Houstechnik. – № 9.- 8 – 12.
20. Эпоян С., Штонда И., Штонда Ю., Шаляпин С., Шаляпина Т., Зубко А., 2013. Обеззараживание сточных вод на локальных очистных сооружениях при использовании ультрафиолетового излучения. // Motrol. Commission of motorization and energttics in agriculture. – Volume 15 №6. – Lublin - Rzeszow. – 85-92.
21. Эпоян С., Штонда И. Шаляпин С., Шаляпина Т., Зубко О., Штонда Ю., 2015. Ультрафіолетові установки для знезараження стічних вод та шляхи їх вдосконалення // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - Вип. 1(79). - 237 – 241.
22. Эпоян С., 1997. Оценка прочности хлопьев, образующихся при флокуляционном перемешивании / Водоснабжение и санитарная техника. - №4. – 24.
23. Яковлев С., Воронов Ю., 2004. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. – М.: АСВ. – 704.
24. Яковлев С., Карелин Я., Ласков Ю., Воронов Ю., 1985. Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие.– 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат. – 335.
25. Яковлев С., Карелин Я., Ласков Ю., Воронов Ю., 1990. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат. – 511.
26. .Stepan Epojan, Irina Shtonda, Yuriy Shtonda, Aleksey Zubko, Yuriy Zvyagintsev., 2011. Solar energy usage for the improvement of the treatment efficiency and operation stability at small-scale wastewater treatment plants. // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 13C. – Simferopol-Lublin. – 91-96.

SEWAGE TREATMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES FROM SYNTHETIC SURFACE-ACTIVE SUBSTANCE

Summary. The results of research on sewage treatment of industrial enterprises from surface-active substance

Key words: sewage treatment plants, waste water, aeration, activated carbon, synthetic surface-active substance

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ЯБЛОЧНОГО СОКА

Виктор Ковальчук, Александр Ковальчук

Национальный университет водного хозяйства и природопользования

Адрес: Украина, г. Ровно, ул. Соборная, 11

E-mail: kvant56@list.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований технологии физико-химической и биологической очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока.

Ключевые слова: предприятия по производству концентрированного яблочного сока, сточные воды, отстаивник-флотатор, аэротенк-отстойник, технология очистки сточных вод.

ВЕДЕНИЕ

По состоянию на 2013 год производство соков в Украине достигло 0,75 млн. тонн и постоянно увеличивается [4]. Предприятия по производству соков сосредоточены преимущественно в Николаевской, Одесской, Днепропетровской, Винницкой и Закарпатской областях. Наибольшая доля (до 39%) при этом принадлежит яблочному соку, значительная часть которого производится в концентрированном виде и в дальнейшем используется как составляющая большинства купажируемых соков и нектаров. Переработка яблок в концентрированный сок сопровождается образованием значительных расходов высококонцентрированных сточных вод, что создает серьезную угрозу водным источникам, так как большинство предприятий размещены в сельской местности, где отсутствуют мощные канализационные очистные сооружения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

При переработке яблок в концентрированный сок образуются большие количества высококонцентрированных сточных вод, содержащих песок, землю, отходы от переработки яблок (плодоножки, листья, косточки, кожуру, гниль, яблочную мякоть, остатки сока), часть лютерной воды и моющие средства [10]. Наибольшее количество наиболее загрязненных сточных вод при этом образуется при мойке яблок, фильтровании сока и его сгущении (таблицы 1, 2). Учитывая высокое содержание органических веществ, которые окисляются биохимическим путем (таблица 3), биологическая очистка является основным методом обезвреживания сточных вод этих предприятий. Однако сточные воды содержат значительное количество взвешенных веществ, имеют недостаточное содержание биогенных элементов, а их pH часто выходит за пределы 6,5-8,5, что требует осуществления их подготовки к биологической очистке.

Таблица 1. Удельные расходы и БПК₅ сточных вод, образующихся при производстве концентрированного яблочного сока [16]

Table 1. Specific wastewater and BOD₅ loading resulting from concentrated apple juice production [16]

Название процесса	Удельный расход сточных вод, м ³ /т	БПК ₅ , кг/т
Мойка	0,143	1,180
Измельчение	0,009	0,007
Прессование	0,021	0,203
Фильтрация	0,123	0,688
Деароматизация	0,649	0,033
Сгущение	0,472	0,207
Мойка оборудования	0,004	0,005
Утечки	0,006	0,619
Водоподготовка	0,016	0,080
Вместе	1,442	3,02

Таблица 2. Количество загрязняющих веществ, содержащихся в сыром та концентрированном яблочном соке [1]

Table 2. The amount of pollutants in raw and concentrated apple juice [1]

Показатели	Яблочный сок		
	сырой	после удаления ароматических веществ	после сгущения
pH	3,4	3,4	3,2
ХПК, мг/дм ³	56000	68500	490000
БПК ₅ , мг/дм ³	50000	67500	400000

Анализ данных, приведенных в таблице 3, показывает, что pH сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока колеблется в довольно широких пределах - от 4,46 до 11,4, что, с одной стороны, обусловлено слабокислой реакцией самих яблок, а с другой - применением щелочи при мытье оборудования. Кривые титрования проб, отобранных в период переработки яблок [11], показывают, что для нейтрализации сточных вод необходимо использовать достаточно большие дозы щелочи.

Таблица 3. Фактические концентрации загрязнений сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока [11]

Table 3. The actual wastewater concentrations of concentrated apple juice production plants [11]

Показатели загрязнений сточных вод	Значения показателей загрязнений неочищенных сточных вод для предприятий	
	Голд Транс Интер-нешл	Букофрут
pH	4,46-10,18	<u>4,9-11,4</u> 5,54
Взвешенные вещества, мг/дм ³	1464	<u>580-10900</u> 2176
ХПК, мг O ₂ /дм ³	7413	<u>1747-12740</u> 9094
БПК _{полн} , мг O ₂ /дм ³	5145	<u>1292-8200</u> 5941
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³		<u>1184-6590</u> 4910
Азот аммонийный, мг/дм ³	14	<u>0,8-39</u> 21,6
Фосфаты (PO ₄ ³⁻), мг/дм ³	-	<u>0,12-11,7</u> 0,9
БПК _{полн} /ХПК	0,69	0,65

Поэтому нейтрализацию следует осуществлять путем смешивания слабокислых и щелочных стоков, что позволит уменьшить количество добавляемой щелочи.

Для сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока характерно крайне низкое содержание соединений азота и фосфора. Соотношение между содержанием в сточных водах предприятия «Голд Транс Интернешл» органических веществ и биогенных элементов БПК_{полн}:N:P составило 100:0,21: 0,01. Для предприятия «Букофрут» оно составляет 100:0,28: 0,02. Таким образом, содержание биогенных элементов в рассматриваемых сточных водах недостаточно и значительно меньше значений, характерных для нормального хода биологической очистки [3], что указывает на необходимость специального добавления биогенных элементов в сточные воды.

Режим водоотведения предприятий по производству концентрированного яблочного сока крайне неравномерный, что обусловлено сезонным характером работы, наличием сырья, осуществлением технологических операций по мойке оборудования и уборка цехов [20, 21, 23].

Действующие в Украине нормативные документы не содержат каких-либо данных, которые позволили бы выбрать технологическую схему и осуществить расчет сооружений для очистки сточных вод предприятий по производству кон-

центрированного яблочного сока. В результате для очистки этой категории стоков длительное время применялись и применяются до сих пор сооружения для очистки городских сточных вод. Особенно сложная ситуация возникает в случае необходимости проектирования очистных сооружений для новых предприятий по производству концентрированного яблочного сока, когда состав и свойства образуемых сточных вод к моменту проектирования предприятия еще неизвестны, а само строительство запрещается без проекта очистных сооружений.

Анализ известных результатов применения анаэробных методов для очистки высококонцентрированных сточных вод плодоовощных предприятий показывает, что им присущи существенные недостатки, основными из которых являются: недостаточная степень очистки сточных вод (ХПК очищенных сточных вод составляет 480-1780 мг/дм³, БПК₅ - 95-530 мг/дм³, взвешенные вещества - 200-800 мг/дм³) [19]; невозможность поддержания температуры процесса анаэробного брожения за счет утилизации создаваемого биогаза; невозможность, после длительной остановки предприятий, быстрого ввода в эксплуатацию анаэробных реакторов вследствие низкого прироста анаэробного ила; возникновение неприятных запахов; необходимость обеспечения значительных противопожарных разрывов.

Известны случаи эффективной аэробной очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока с использованием оборудования иностранных фирм.

Предприятие Polobst в Гура Калвария (Польша) производит концентрат яблочного сока. Для увеличения производительности очистных сооружений предприятия по ХПК до 6300 кг/сутки фирма Envigo-Chemie в 2003 году осуществила их реконструкцию. Технологическая схема очистки сточных вод предусматривает их усреднение, процеживание на ситах, изъятие песка в песколовках, нейтрализацию каустической содой или известью. Далее сточные воды подвергаются аэробной биологической очистке на двух установках Biomar® с пневматической аэрацией, установленных параллельно. Разделение иловой смеси осуществляется в одном вторичном отстойнике. Избыточный активный ил уплотняется в двух вертикальных илоуплотнителях и, после обработки полиэлектролитом, обезвоживается на центрифуге. При начальной ХПК очищаемых сточных вод 9000 мг/дм³, очистные сооружения обеспечивают ее уменьшение до 100 мг/дм³, БПК₅ - до 25 мг/дм³, а концентраций взвешенных веществ - до 35 мг/дм³ [14].

Для очистки сточных вод предприятия по производству концентрированного яблочного сока Henuan Juice Co., Ltd., Sichuan (Китай) на основе литературного анализа была принята технология, предусматривающая процеживания, коагуляцию, напорную флотацию, кислый гидролиз и аэробную

биологическую очистку - так называемый CASS-процесс (Cyclic Activated Sludge System) [13]. Процеживания сточных вод через сетки обеспечивает уменьшение их ХПК - на 12,4, а концентраций взвешенных веществ - на 28%. При оптимальной дозе коагулянта марки PAC 50 мг/дм³, продолжительности 20 мин. и давления флотации 4 кг/см² ХПК уменьшается на 45, а концентрация взвешенных веществ - на 65%. При продолжительности кислого гидролиза 10 часов, рН 5,0-8,0 и начальной ХПК 2000-3000 мг/дм³ достигается стабильное уменьшение ХПК и концентраций взвешенных веществ, соответственно, на 45 и 75%. Перед аэробной биологической очисткой осуществляется дозировка в сточные воды биогенных элементов для обеспечения их соотношения С:N:P = 500:5:1 (ХПК при этом не превышает 1200 мг/дм³). В этих условиях лучшим является 8-и часовой периодический цикл работы CASS. Доза ила при этом составляет 5 г/дм³, а иловый индекс - 52-66 см³/г. Несмотря на сложность технологии, эффективность очистки сточных вод по ХПК при этом составляет около 91%, что соответствует требованиям китайских стандартов на сброс сточных вод в открытые водоемы.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разрабатываемая технология должна обеспечивать необходимую степень очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока, быть энергосберегающей, простой в эксплуатации и наилучшим образом приспособленной к сезонному режиму работы предприятий.

Сточные воды предприятий по производству концентрированного яблочного сока содержат в своем составе полидисперсную взвесь - от частиц измельченных фруктов и овощей размером более 1 мм, до частиц, образующихся при отделении сока декантацией, 60% которых имеют размер менее 1 мкм [22]. Учитывая также наличие в этих сточных водах шкурок, косточек, семян, плодоножек и малых листочков, можно сделать вывод, что для удаления взвеси из сточных вод должны быть применены различные методы, предназначенные для извлечения из сточных вод частиц разной степени дисперсности.

Пробное отстаивания сточных вод предприятия «Букофрут» в течение 2 часов обеспечило уменьшение концентраций взвешенных веществ с 1736 мг/дм³ до 572 мг/дм³, или на 67%, что значительно выше эффективности отстаивания городских сточных вод. Однако остаточная концентрация взвешенных веществ в осветленных сточных водах при этом более чем в 3 раза превысила рекомендуемое значение, что указывает на целесообразность применения для извлечения взвеси

процеживания, отстаивания и флотационной очистки [11].

С учетом высоких концентраций в сточных водах органических веществ, для биологической очистки должны быть применены высокопроизводительные биоокислители, работающие с повышенной окислительной мощностью.

Исходя из этих особенностей состава и свойств сточных вод была разработана технология глубокой очистки высококонцентрированных сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока, которая предусматривает нейтрализацию и корректировку содержания биогенных элементов, изъятие крупных примесей на дуговых ситах, удаление взвешенных веществ в отстойниках-флотаторах, полную биологическую очистку в двухступенчатых аэротенках-отстойниках со струйной аэрацией и доочистку сточных вод [2, 5, 7, 17, 18].

Задачу настоящих исследований составила экспериментальная проверка работы предложенных сооружений и технологической схемы очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока в условиях действующего производства.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Производственные исследования выполняли на очистных сооружениях предприятий по производству концентрированного яблочного сока в Черновицкой области - «Голд Транс Интернешнл» и «Букофрут» (рис. 1 и 2). Оба предприятия работают с конца июля до середины декабря.

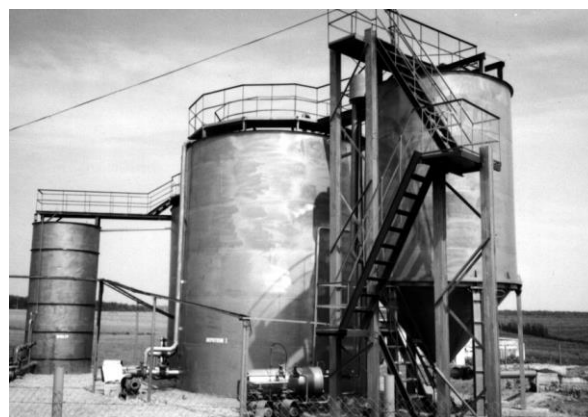


Рис. 1. Очистные сооружения предприятия «Голд Транс Интернешнл»

Fig. 1. «Gold Trans International» wastewater treatment plant

Очистные сооружения предприятий «Голд Транс Интернешнл» и «Букофрут» построены по аналогичной технологической схеме, предусматривающей предварительную нейтрализацию и добавление биогенных элементов.



Рис. 2. Очистные сооружения предприятия «Букофрут»
Fig. 2. «Bukofrut» wastewater treatment plant

Далее сточные воды подаются на дуговые сита, где освобождаются от яблочной кожуры и косточек, затем в отстойники-флотаторы для извлечения взвешенных веществ. После двухступенчатой биологической очистки сточные воды подвергаются доочистке на фильтрах с загрузкой с вспененного полистирола (предприятие «Голд Транс Интернешнл») и реагентной доочистке в отстойниках с водоворотных камерой хлопьеобразования (предприятие «Букофрут»). Проектная производительность очистных сооружений предприятия «Голд Транс Интернешнл» составляет 200 м³/сутки, а предприятия «Букофрут» - 700 м³/сутки.

Очистные сооружения обоих предприятий представляют собой изготовленные из металла и размещенные выше уровня земли цилиндрико-конические сооружения.

Для нейтрализации сточных вод на предприятии «Голд Транс Интернешнл» применялись каустическая сода, а для корректировки состава биогенных элементов - аммиачная вода и суперфосфат, растворы которых дозировались непосредственно в приемный резервуар насосной станции. На предприятии «Букофрут» в приемный резервуар насосной станции дозировались каустическая сода, аммофос и аммиачная селитра.

Особенностью конструкции дугового сита марки СД-Ф-50 (рис. 3) на предприятии «Букофрут» является наличие специального вращающегося отжимного устройства для твердой фракции, которое приводится в действие при помощи электродвигателя с редуктором. Исследование эффективности работы дугового сита осуществляли путем анализа концентраций взвешенных веществ во входных и выходных пробах, графическая зависимость между которыми приведена на рисунке 4.



Рис. 3. Дуговое сито марки СД-Ф-50 на очистных сооружениях предприятия «Букофрут»
Fig. 3. Arc sieve in wastewater treatment plants enterprise «Bukofrut»

Как следует из аналитического выражения полученной зависимости, количество взвешенных веществ, изымаемых на дуговом сите, возрастает от 338 до 734 мг/дм³ (в 2,2 раза) при увеличении концентраций взвешенных веществ от 580 до 10000 мг/дм³ (в 17,3 раза).

Такое небольшое изменение количества взвешенных веществ, удаляющихся на дуговом сите, очевидно, может быть объяснено определенным постоянством содержания крупных примесей сточных вод (листочков, косточек, плодоножек и т.п.) по отношению к концентрации взвешенных

веществ и, собственно, неизменностью площади фильтрующей поверхности и размеров ячеек дугового сита.

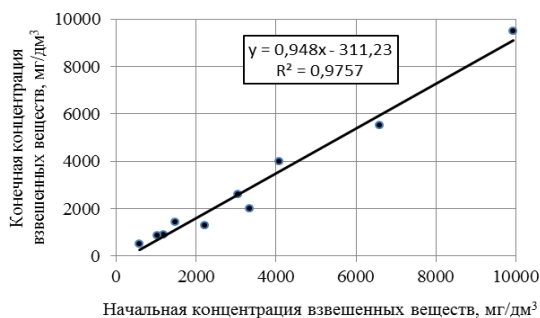


Рис. 4. Зависимость концентрации взвешенных веществ в сточных водах после дугового сита от их начальной концентрации

Fig. 4. Effect of initial concentrations of suspended solids on effluent after the arc sieve

При средней концентрации взвешенных веществ в сточных водах предприятия «Букофрут» 2176 мг/дм³, расчетная эффективность работы дуговой сита составляет 18,6%. При этом средняя эффективность работы дугового сита за период наблюдений составила 24,9%.

Для удаления из сточных вод взвешенных веществ сначала отстаиванием, а затем флотацией с рециркуляцией рабочей жидкости, применяли комбинированные отстойники-флотаторы [11]. Внешний диаметр отстойников-флотаторов, установленных на предприятиях «Голд Транс Интернешнл» и «Букофрут» составил, соответственно, 4,0 и 7,2 м.

Исследования очистки сточных вод в от-

стойниках-флотаторах осуществляли путем анализа входных и выходных проб, а также контроля технологических параметров работы сооружений. В течение периода выполнения исследований на этих предприятиях фактическая гидравлическая нагрузка на поверхность зоны флотации отстойников-флотаторов составила, соответственно, 2,3 и 3,6 м³/(м².час), значение коэффициента рециркуляции рабочей жидкости - 0,48 и 0,63, продолжительность насыщения рабочей жидкости воздухом - 5,5 и 5 мин., расход воздуха, подсосываемого водовоздушными эжекторами - 0,5 и 2,3 м³/час. Средние концентрации загрязнений очищаемых и очищенных сточных вод приведены в таблице 4.

Как видно из приведенных данных, эффективность предварительной очистки сточных вод в отстойниках-флотаторах предприятий «Голд Транс Интернешнл» и «Букофрут» оказалась достаточно высокой и составила: 79,8-82,3% - по взвешенным веществам; 56,6-59,2% - по ХПК; 46,0-50,2% - по БПК_{полн}.

Влажность образующегося флотошлама составила 84,9-95,1 % (рис. 5).

Биологическую очистку предварительно подготовленных сточных вод осуществляли в двухступенчатых аэротенках-отстойниках повышенной гидравлической высоты с поверхностной струйной аэрацией, работающих по одноиловой схеме (рис. 5) [6, 9].

Исследование биологической очистки сточных вод осуществляли путем анализа входных (после очистки в отстойниках-флотаторах) и выходных (после осветления во вторичных отстойниках) проб сточных вод, а также контроля технологических параметров работы аэротенков и вторичных отстойников.

Таблица 4. Средняя эффективность флотационной очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока

Table 4. The results of flotation wastewater treatment of concentrated apple juice production enterprises (average value)

Показатели загрязненности сточных вод	Средние концентрации загрязнений сточных вод, мг/дм ³ , неочищенных/очищенных		Средняя эффективность очистки сточных вод, %	
	Голд Транс Интернешнл	Букофрут	Голд Транс Интернешнл	Букофрут
Взвешенные вещества	1464/296	1654*/288	79,8	82,3
ХПК	7413/3022	9094/3947	59,2	56,6
БПК ₅	- / -	4910/2567	-	47,7
БПК _{полн}	5145/2563	5941/3207	50,2	46,0
Аммонийный азот	14/123,2**	21,6/139,2**	-	-
Нитриты	- / -	0,31/0,25	-	19,4
Нитраты	- / -	1,62/0,53	-	67,3
Фосфаты	2/65,1**	3,9/67,4**	-	-

* после дугового сита; ** после нейтрализации и корректировки состава биогенных элементов



Рис. 5. Флотошлам на поверхности отстойника-флотатора очистных сооружений предприятия «Голд Транс Интернешнл»

Fig. 5. Float concentrate on settler-flotator surface in «Gold Trans International» wastewater treatment plants



Рис. 6. Аэротенки-отстойники на предприятии «Букофрут»

Fig. 6. Aerotank-settlers on the enterprise «Bukofrut»

Полученные результаты позволили установить принципиальную возможность эффективной биологической очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока, в том числе и до показателей полной биологической очистки (среднее значение БПК₅ 12,7 мг О₂/дм³).

В течение периода исследований доза ила в аэротенках предприятия изменялась в пределах 1,75-5,4 г/дм³, нагрузка на беззольное вещество активного ила - в пределах 184-1220 мг/(г·сутки) по ХПК и 42-575 мг/(г·сутки) по БПК₅, окислительная мощность 106-2421 г/(м³·сутки) по ХПК и 57-1736 г/(м³·сутки) по БПК₅.

В пределах указанных выше изменений нагрузок на активный ил наблюдалось незначительное снижение эффективности биологической очистки при нагрузках на активный ил по ХПК в пределах 300-500 мг/(г·сутки) и при нагрузках более 1000 мг/(г·сутки) (рис. 7). При этом иловый индекс изменялся в пределах 72-128 см³/г подобно изменению илового индекса при биологической

очистке городских сточных вод [8], что свидетельствует об удовлетворительных седиментационных свойствах активного ила.

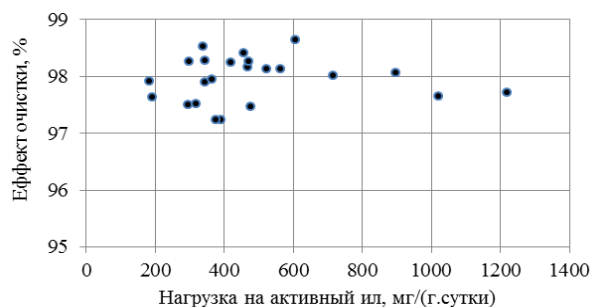


Рис. 7. Зависимость эффекта биологической очистки сточных вод предприятий «Букофрут» от нагрузки на активный ил по ХПК

Fig. 7. Effect of sludge loading on COD removal efficiency in biological wastewater treatment of enterprise «Bukofrut»

При работе аэротенков-отстойников в диапазоне средних нагрузок на активный ил обеспечивается полная биологическая очистка сточных вод [12]. Сравнение окислительных мощностей, достигаемых при этом, с окислительными мощностями аэротенков для полной биологической очистки городских сточных вод приведено в таблице 5.

Как видно из таблицы 5, окислительная мощность аэротенков-отстойников по БПК₅ оказалась почти в два раза выше, чем окислительная мощность аэротенков для очистки городских сточных вод, определенная по БПК_{полн}. При этом следует учесть, что органические загрязнения городских сточных вод, более легко окисляемые по сравнению с загрязнениями сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока, а окислительная мощность, исчисленная в единицах БПК_{полн}, всегда превышает окислительную мощность в единицах БПК₅.

Продолжительная эксплуатация очистных сооружений предприятий «Голд Транс Интернешнл» и «Букофрут» позволила определить оптимальные значения pH и концентраций биогенных элементов в сточных водах перед биологической очисткой в аэротенках-отстойниках.

Установлено, что при значениях pH сточных вод после их нейтрализации в пределах 5,4-7,3, биологическая очистка обеспечивает увеличение pH до 6,48-7,55. Отношение БПК_{полн}:N:P, составляющее 100:3,4: 0,9, оказалось достаточным для обеспечения нормального протекания биологической очистки сточных вод в аэротенках-отстойниках.

Результаты предварительной флотационной и биологической очистки сточных вод предприятия «Букофрут» приведены в таблице 5.

Таблица 5. Окислительная мощность аэротенков для очистки сточных вод предприятия по производству концентрированного яблочного сока и городских сточных вод

Table 5. The oxidation capacity of aerotanks for wastewater of concentrated apple juice production enterprises treatment and municipal wastewater

Сооружения биологической очистки и вид очищаемых сточных вод	Окислительная мощность, г БПК ₅ /(м ³ .сутки) при БПК ₅ очищенных сточных вод, мг/дм ³		
	14	16	18
Аэротенки-отстойники предприятия «Букофрут»	922	1264	1606
Аэротенки для очистки городских сточных вод* [8]	700	780	800

*по БПК_{полн}

Для математического моделирования процесса биологической очистки сточных вод в производственных условиях использовали модель Эккенфельдера, которая достаточно точно описывает экспериментальные данные:

$$\frac{L_{en} - L_{ex}}{a_s \cdot t_{atm}} = KL_{ex},$$

где: L_{en} - концентрации загрязнений в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, мг О₂/дм³; L_{ex} - концентрации загрязнений в биологически очищенных сточных водах, мг О₂/дм³; a_s - концентрация беззольного вещества активного ила, г/дм³; t_{atm} - продолжительность аэрации сточных вод в аэротенке, час; K - константа Эккенфельдера, дм³/(г.час).

Графическая интерпретация полученных результатов показала (рис. 8), что значения константы K увеличиваются при эффективности биологической очистки более 85-90 % и могут быть определены по формуле [15]:

$$K = a(1 - \eta)^b = a \left(\frac{L_{ex}}{L_{en}} \right)^b,$$

где: η - эффективность биологической очистки, доли единицы; a и b - эмпирические коэффициенты.

В результате были получены уравнения зависимостей значений констант от эффективности очистки сточных вод в аэротенках-отстойниках по ХПК:

$$K = 0,0034(1 - \eta)^{-1,063}, \text{ дм}^3 / (\text{г} \cdot \text{час}),$$

и БПК₅:

$$K = 0,00583(1 - \eta)^{-0,9741}, \text{ дм}^3 / (\text{г} \cdot \text{час}).$$

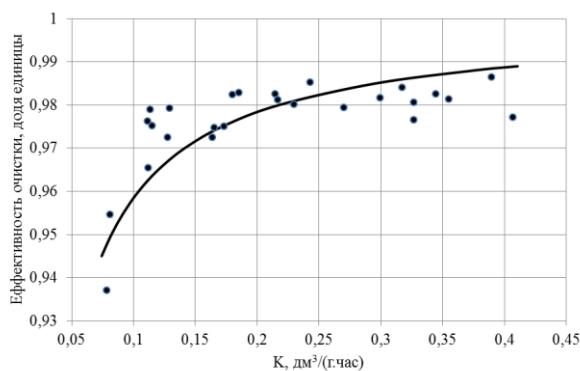


Рис. 8. Зависимость значений константы K от эффективности очистки сточных вод по ХПК
Fig. 8. Effect of COD removal efficiency on constant K

Полученные уравнения позволяют осуществить расчет аэротенков для очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока, прошедших предварительную флотационную очистку.

Как уже указывалось ранее, для доочистки сточных вод на предприятии «Голд Транс Интернешнл» использовался фильтр с плавающей загрузкой. Однако эффективность доочистки сточных вод на фильтре оказалась небольшой - уменьшение концентраций взвешенных веществ в среднем составил 28,1%, ХПК - 9,3%, БПК₅ - 13,6%. Поэтому были выполнены лабораторные исследования реагентного метода доочистки сточных вод на предприятии «Букофрут».

Было установлено, что реагентная обработка (доза коагулянта 50 мг/дм³ по Al₂O₃) и последующее отстаивание проб сточных вод в течение 1,5 ч обеспечивали уменьшение концентраций взвешенных веществ (средние значения) с 15,4 до 7,5 мг/дм³ (на 51,3%), ХПК - с 84,4 до 51 мг/дм³ (на 39,6%), БПК₅ - с 12,7 до 8,1 мг/дм³ (на 36,2%).

Обезвоживание образующихся осадков на предприятии «Голд Транс Интернешнл» производилось на иловых площадках, а на предприятии «Букофрут» - при помощи дегидрататора.

ВЫВОДЫ

1. Сточные воды предприятий по производству концентрированного яблочного сока содержат значительное количество органических загрязнений, отходов переработки яблок, имеют низкое содержание биогенных элементов, обычно слабокислую реакцию. Предприятия имеют сезонный характер работы, а режим их водоотведения отличается значительной неравномерностью.

Таблица 5. Результаты очистки сточных вод предприятия «Букофрут»
Table 5. The results of wastewater treatment enterprise «Bukofrut»

Показатели	Концентрации загрязнений сточных вод, мг/дм ³			Эффект очистки, %
	неочищенных	после отстойника-флотатора	после аэротенков-отстойников	
pH	<u>4,9-11,4</u> 5,54	<u>5,4-7,3</u> 6,22	<u>6,48-7,55</u> 7,08	-
Взвешенные вещества	<u>580-10900</u> 2176	<u>132-420</u> 288	<u>10,7-28,2</u> 15,4	99,3
ХПК	<u>1747-12740</u> 9094	<u>657-6394</u> 3947	<u>41,4-127</u> 84,4	99,1
БПК _{полн}	<u>1292-8200</u> 5941	<u>512-5403</u> 3207	<u>14,5-23,8</u> 17,7	99,7
БПК ₅	<u>1184-6590</u> 4910	<u>341-4512</u> 2567	<u>9,3-18,0</u> 12,7	
Аммонийный азот	<u>0,8-39</u> 21,6	<u>0,14-174</u> 139,2	<u>1,7-24</u> 2,9	86,6
Нитриты	<u>0-5,8</u> 0,31	<u>0-4,4</u> 0,25	<u>0,01-1,96</u> 0,26	
Нитраты	<u>0,03-9,9</u> 1,62	<u>0-4,1</u> 0,53	<u>0,01-1,72</u> 0,38	
Фосфаты	<u>0,12-11,7</u> 3,9	<u>42-126,3</u> 67,4	<u>0,15-3,9</u> 1,4	64,1

2. Анализ степени биоокисляемости органических примесей по отношению БПК_{полн}/ ХПК показал, что сточные воды предприятия по производству концентрированного яблочного сока могут быть успешно очищены биологическими методами. Изучение известных результатов применения для очистки этой категории сточных вод анаэробных методов показывает, что им присущи существенные недостатки, которые делают нецелесообразным их применение.

3. Предложена технология очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока, предусматривающая их нейтрализацию, корректировку состава биогенных элементов, извлечение крупных примесей на дуговых ситах, остальной массы взвешенных веществ – в отстойниках-флотаторах, двухступенчатую биологическую очистку и реагентную доочистку сточных вод.

4. При выполнении производственных исследований средняя эффективность работы дуговой сита по взвешенным веществам составила 24,9%.

5. В производственных условиях исследования на эффективность работы отстойников-флотаторов вертикального типа. Достигнутая эффективность очистки сточных вод предприятий по производству концентрированного яблочного сока при этом составила: 79,8-82,3% - по взвешенным веществам; 56,6-59,2% - по ХПК; 46,0-50,2% - по БПК_{полн}.

6. Для обеспечения нормального протекания процесса биологической очистки в аэротенках pH сточных вод, поступающих в аэротенки, должно

быть не менее 5,4, а содержание биогенных элементов - не менее БПК_{полн}:N:P = 100:3,4:0,9.

7. Высокая эффективность биологической очистки сточных вод достигается при нагрузках на ил по ХПК в пределах 500-1000 мг/(г·сутки). В указанном диапазоне нагрузок на активный ил иловый индекс изменялся в пределах 72-128 см³/г, что свидетельствует о его удовлетворительных седиментационных свойствах

8. Установлено, что значения константы *K* в модели Эккенфельдера увеличиваются при эффективностях биологической очистки более 85-90 %, и могут быть определены по полученным уравнениям.

9. Реагентная доочистка сточных вод сульфатом алюминия обеспечивает требования к сбросу очищенных сточных вод в естественные водоемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вода и сточные воды пищевой промышленности / [Я. Томчинская, А. Кинтцель, М. Дудек и др.]; пер. с польск. под ред. В.М. Каца. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 383.
2. Гіроль М., Ковальчук О., 2011. Очистка стічних вод підприємств з виробництва концентрованого яблуневого соку. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. 42. – Одеса, Optimum. – 22-27.
3. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення

- проекування. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 127.
4. Державна служба статистики України. Виробництво основних видів промислової продукції за 2011-2013 роки. Експрес-випуск. – Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/pr/prm_ric/prm_ric_u/vov2005_u.html - назва з екрану.
 5. Ковальчук А., 2011. Очистные сооружения предприятия по производству концентрированного яблочного сока. Сотрудничество для решения проблемы отходов: Матер. VIII Междунар. конф. (23-24 февраля 2011 г., г. Харьков, Украина). – 89-91.
 6. Ковальчук В., Ковальчук О., 2010. Біологічна очистка стічних вод в аеротенках-відстійниках зі струминною аерацією. Ринок інсталяцій. – № 5. – 11-13.
 7. Ковальчук В., 2009. Відстійник-флотатор для попередньої очистки стічних вод м'ясопереробних підприємств. Ринок інсталяцій. – № 9. – 20-21.
 8. Ковальчук В., 2002. Очистка стічних вод: Навчальний посібник для студентів вузів. – Рівне: Рівненська друкарня, 2002. – 622.
 9. Ковальчук В., 2013. Технология очистки сточных вод мясоперерабатывающих предприятий. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. - Lublin-Rzeszow, Vol. 13, No 6. – 109-116.
 10. Ковальчук О., 2012. Особливості складу стічних вод підприємств плодоовочевої промисловості та раціональна технологія їх очистки. Вісник будівництва. – Вип. 68. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 255-261.
 11. Ковальчук О., 2013. Підготовка стічних вод підприємств із виробництва концентрованого яблучного соку до біологічної очистки. Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – К.: Техніка. – Вип. 110. – 85-91.
 12. Ковальчук О., 2013. Особливості біологічної очистки стічних вод підприємств із виробництва концентрованого яблучного соку. Науковий вісник будівництва. – Вип. 71. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 391-397.
 13. Application in Engineering Study on Coagulation-Air Flotation+Hydrolysis Acidification+CASS Process in Treating Concentrated Apple Juice Processing Wastewater / Posted on November 23, 2011 by China Papers.
 14. Biomar® Diological waste water treatment for a producer of apple juice concentrate. – Режим доступу: www.envirochemie.eu/uploads/media/Aquaeduct_0907_02.pdf. - назва з екрану.
 15. Buraczewski J., 1981. Studia nad modelem matematycznym procesu oczyszczania sciekow za pomoca osadu czynnego i analiza jego stosowalnosci. Prace naukowe politechniki Warszawskiej: Budownictwo. – Z 74. – Warszawa. - 115.
 16. Dr.- Ing. Joachim Wieting. Beste Verfügbare Techniken (BVT) nach der IVU-Richtlinie - Fruchtsäfte und Nektare, Gemüsesäfte. Workshop zur IVU-Richtlinie Zagreb vom 22. bis 23. September 2008. – 8p.
 17. Hirol M., Kovalchuk A., 2012. The Research of Wastewater Treatment Technology of Concentrated Apple Juice Production Enterprises. Innovative technologies in water management complex. - Collected articles of young scientists. - Rivne. – Part II. – 129-131.
 18. Hirol M., Kovalchuk A., 2010. Wastewater characteristics from fruit and vegetable processing and effective methods of its treatment. Water management – state and prospects of development. Collected articles of young scientists.- Rivne. – Part I. – 220-222.
 19. Koevoets W., Versprille A., Korthout H., 2002. High rate anaerobic treatment of fruit juice & processing effluents: a reliable and sustainable solution. Instituto de Ingeniería. Anaerobic digestion. Mérida, Yucatán, UNAM. - 4.
 20. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Bd. V. Organisch verschmutzte Abwasser der Lebensmittelindustrie. 5.6. Industrielle Gemüse- und Obstverwertung. Von d. Abwassertechn. Vereinigung e. V. in St. Augustin. – 3., überarb. Aufl. – Berlin: Ernst, Verlag für Architektur u. Techn. Wiss., 1985. – 276-319.
 21. Roy E. Carawan, James V. Chambers, Robert R. Zall., 1979. Spinoff on fruit and vegetable water and wastewater management. North Carolina State University, Cornell University, Purdue University. Extension Special Report No. AM-18E. January. – 159.
 22. Systems and Processes from GEA Westfalia Separator for the Fruit-Processing and Juice-Making Industries / GEA Mechanical Equipment / GEA Westfalia Separator. – 48.
 23. Wastewater Treatment in the Food Processing Industry., 1975. Volume 3. Pollution Abatement in the F&V Industry / U.S. EPA. Office of Technology Transfer. – Washington, D.C. – 134.

WASTEWATER TREATMENT OF CONCENTRATED APPLE JUICE PRODUCTION PLANTS

Summary. The results of experimental research of physical and chemical technologies and biological treatment of wastewater from concentrated apple juice production plants.

Key words: concentrated apple juice production plants, wastewater, settler-flotator, aeration tank-settler, technology of wastewater treatment.

ОЧИСТКА ВЫБРОСОВ ОТ КОКСОВЫХ ПЕЧЕЙ С ПОМОЩЬЮ СКРУББЕРА НАСАДОЧНОГО ТИПА

Александр Редько, Юрий Чайка, Юрий Бурда

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
Адрес: Украина, 61002, ул. Сумская, 40
E-mail: office@kstuca.kharkov.ua

Аннотация. Представлены результаты теоретических исследований новой конструкции скруббера с просечно-вытяжной насадкой. Изменение конструкции скруббера позволило уменьшить их количество с трех до одного, сократить количество используемой поглощающей жидкости, затраты на оборудование и его обслуживание.

Ключевые слова: скруббер, насадка, газоочистка, коксовый газ, циклоны.

ВВЕДЕНИЕ

В химической промышленности и в технологии очистки газообразных и жидких систем широко распространены и имеют важное значение процессы массопередачи, характеризующиеся переходом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую. (Рис. 1)

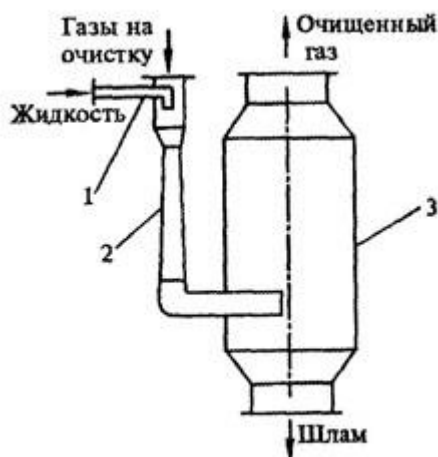


Рис.1. Скруббер Вентури.
Fig. 1. Venturi scrubber

1 – орошающая форсунка; 2 – труба Вентури;
3 – каплеуловитель

В основном применяются следующие процессы массопередачи между газовой (паровой) и жидкой, между газовой и твердой, между твердой и жидкой, а также между двумя жидкими фазами: абсорбция, экстракция, ректификация, адсорбция, сушка, кристаллизация.

Теоретические основы современной технологии позволяют решать многочисленные и разнообразные проблемы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией соответствующих аппаратов, где протекают те или иные массообменные процессы [17,18].

Области применения абсорбционных процессов в промышленности весьма обширны: получение готового продукта путем поглощения газа жидкостью; разделение газовых смесей на составляющие их компоненты; очистка газов от вредных примесей; улавливание ценных компонентов из газовых выбросов.

Современные коксовые печи представляют собой агрегаты (батареи), состоящие из ряда горизонтальных камер в общей кладке. Между камерами находятся простенки, в которых расположены горелочные каналы. Один простенок обогревает стенки двух соседних камер. Под простенками находятся регенераторы, через которые, нагревая насадку регенераторов, проходят продукты горения, имеющие температуру 700 - 750 °С. Тепло, отданное регенераторам, используется затем для подогрева воздуха, идущего на горение, и бедных газов, например, доменного, применяемого для обогрева коксовых печей. Благодаря этому повышается температура горения и увеличивается теплотехнический коэффициент полезного действия печей.

Различные системы коксовых печей отличаются в основном устройством обогревательной системы.

В типовых печах ПК-2К, изображенных на рис. 5, обогревательные каналы одной стороны камер соединены несколькими перекидными каналами с обогревательными каналами другой стороны. В то время как в одном простенке происходит горение, через другой уходят продукты горения. Через 15-20 мин направление обогревающего газа и воздуха и продуктов горения меняется автоматически на обратное, чем достигается равномерность обогрева печи.

В печах системы ПВР обогревательные каналы одного простенка соединены попарно так, что когда в одном канале идет горение, через другой уходят продукты горения, а через 15-20 мин направление газов меняется на обратное (кантование).

Камеры типовых печей имеют длину 13,2 м, ширину 0,407 м, высоту 4 м. Емкость их 18,3 м³. В настоящее время строятся печи, в которых камеры

имеют длину 15 м, высоту 5 м, ширину 0,425-0,475 м, емкость 30 м³. В своде камер имеются три-четыре загрузочных люка и стояк, через который отводятся летучие продукты коксования. С торцевых сторон камеры имеют съемные двери, которые плотно закрыты во время коксования и снимаются, когда нужно выдать кокс из печи. Шихту загружают в накалившую камеру через люки с помощью загрузочного вагона с тремя-четырьмя бункерами.

Нагревание угля в печи происходит быстро от стенок к середине. Разложение угля начинается около 200° С, для перехода угля в размягченное (пластическое) состояние требуется температура выше 350° С. При 480-500° С заканчивается первичное разложение угля – образуется полукокс, первичная смола и первичный газ. При температуре – 750° С происходит пирогенетическое разложение первичных продуктов – образуется кокс, ароматические углеводороды, коксовый газ.

Химизм разложения органической массы угля при высокой температуре пиролиза сложен и недостаточно изучен. В нем сочетаются реакции разложения, поликонденсации, изомеризации и др. Отщепление отдельных карбоксильных и гидроксильных групп от макромолекул угля приводит к появлению свободных валентностей у периферийных атомов углерода, которые, соединяясь между собой, дают высоко конденсированное вещество – кокс.

В результате отщепления циклов, соединенных с основным ядром через кислородные, эфирные и полиэфирные мостики, образуются пода, смола и газ.

Если первичные химические продукты разложения угля представляют собой смесь преимущественно парафиновых, нафтеновых углеводородов, фенола, то продукты коксования состоят уже из смеси ароматических углеводородов – от бензола до много кольчатых и гетероциклических углеводородов. Из серы и азота угля при коксовании образуются сернистые (H₂S, CS₂, COS и др.) и азотистые (NH₃, HCN и др.) соединения. Около 65-70% азота и серы остается в коксе. К концу коксования, через 15-16 часов, коксовый пирог вследствие усадки отходит от стенок печи, что облегчает выдачу его из печи с помощью коксовыталькивателя. Образующаяся во время коксования парогазовая смесь через стояки камер поступает в общий для всей батареи газовый сборник.

После окончания коксования камеры печи отключаются от газового сборника, двери с обеих сторон печи снимаются, и коксовый пирог с помощью коксовыталькивателя выдвигается из печи в тушильный вагон, который направляется затем в тушильную башню, где кокс тушится водой. Тепло тушения не используется. Сухой метод тушения кокса в специальной камере или бункере путем пропускания холодных инертных (не содержащих кислорода) газов еще не получил широкого распро-

странения, хотя при таком способе часть тепла, отдаваемого коксом, можно использовать: с помощью нагретых до 800° С газов получают пар в котлах-утилизаторах, а охладившиеся газы применяются для тушения кокса.

После тушения кокс подается на рампу, а затем с помощью транспортера передается на сортировку, где отбирается несколько сортов кокса (крупность кусков доменного кокса не менее 25 мм).

Общий выход кокса составляет 73-78% веса сухого угля, выход металлургического кокса – 94-95% общего выхода (Рис. 2).

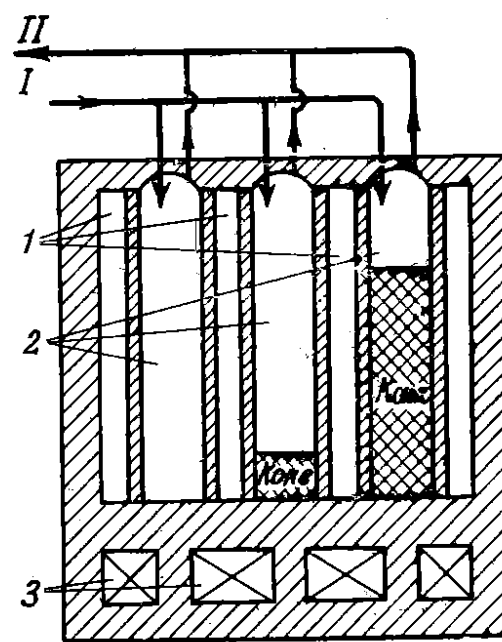


Рис.2. Схема батареи коксовой печи

Fig. 2. Driving coke oven battery

1. нагревательные простенки; 2. коксовые камеры; 3. регенераторы;

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Аппараты мокрой очистки газов нашли широкое применение в промышленности, т.к. характеризуются высокой степенью очистки от мелкодисперсных примесей с $d_{40} > (0,3-1,0)$ мкм, а также возможностью очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов [1,12].

Мокрые пылеуловители имеют ряд преимуществ:

- могут быть применены для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм,
- отличаются сравнительно небольшой стоимостью и более высокой эффективностью улавливания взвешенных частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями,
- могут эффективно использоваться при высокой температуре и повышенной влажности газов,

при опасности возгорания и взрывов очищенных газов, а также в качестве смесительных теплообменников [2,3].

Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама. Метод мокрой очистки газов от пыли считается достаточно простым и в то же время весьма эффективным способом обеспыливания [21].

Однако мокрые пылеуловители обладают рядом недостатков, ограничивающих область их применения: образование в процессе очистки шлама, что требует специальных систем для его переработки; вынос влаги в атмосферу и образование отложений в отводящих газоходах при охлаждении газов до температуры точки росы; необходимость создания оборотных систем подачи воды-пылеуловитель. Кроме того, в случае очистки агрессивных газов аппаратуру и коммуникации необходимо защищать антикоррозионными материалами [11].

Аппараты мокрой очистки работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность либо капель жидкости, либо пленки жидкости. Осаждение частиц пыли на жидкость происходит под действием сил инерции и броуновского движения.

Силы инерции действуют на частицы пыли и капли жидкости при их сближении. Эти силы зависят от массы капель и частиц, а также от скорости их движения: Частицы пыли малого размера (менее 1 мкм) не обладают достаточной кинетической энергией и при сближении обычно огибают капли и не улавливаются жидкостью. Броуновское движение характерно для частиц малого размера. Для достижения высокой эффективности очистки газа от частиц примесей за счет броуновского движения необходимо уменьшить скорость движения газового потока в- аппарате [20].

Кроме этого на процесс осаждения, влияют: турбулентная диффузия, взаимодействие электрически заряженных частиц, процессы конденсации, испарения и др. Во всех случаях очистки газа в мокрых пылеуловителях важным фактором является, смачиваемость частиц жидкостью (чем лучше смачиваемость, тем эффективнее процесс очистки) [4,6].

В зависимости от применяемого давления аппараты бывают: вакуумные, атмосферные, работающие под давлением выше атмосферного.

Скрубберы делятся на два типа: тарельчатые и насадочные. Выбор типа аппарата зависит от технологических требований к процессу и его экономических показателей.

Насадочные абсорберы незаменимы при проведении процесса в условиях разряжения, поскольку их гидравлическое сопротивление самое низкое. Они предпочтительнее также для обработки коррозионных сред и пенящихся жидкостей.

Тарельчатые аппараты удобны для крупнотоннажных производств при относительно малых

расходах жидкости, недостаточных для равномерного смачивания насадки. А также для процессов, сопровождающихся колебаниями температуры, так как периодическое расширение и сжатие корпуса может разрушить хрупкую насадку. На тарелках проще установить змеевики для подвода и отвода теплоты. Они также применяются при обработке потоков с твердыми примесями или при выделении твердого осадка [5].

В зависимости от способа организации поверхности контакта фаз и принципа действия мокрые пылеуловители можно подразделить на следующие группы [8]:

- полые форсуночные скрубберы (оросительные устройства, промывные камеры),
- насадочные скрубберы (орошаемые волокнистые фильтры),
- барботажные и пенные аппараты (тарельчатые скрубберы),
- скрубберы с подвижной насадкой,
- аппараты ударно-инерционного действия,
- центробежные скрубберы (циклоны с мокрой пленкой,
- скоростные аппараты (Вентури),
- эжекторные скрубберы,
- механические скрубберы (Рис. 3).

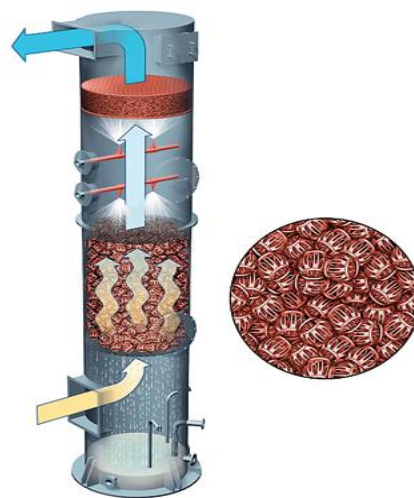


Рис. 3. Башня с насадкой
Fig. 3. Tower with a nozzle

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ранние конструкции скрубберов имели, в отличие от новых типов, повышенную энергоемкость и недостаточно высокую степень очистки фенолов из коксового газа. Как, например, способ улавливания фенолов из газа путем орошения в двух последовательно соединенных барботажных колоннах в противотоке надсмольной воды [10, 13, 16].

Сущность процесса заключается в следующем: коксовый газ, содержащий фенолы в среднем в количестве 200 мг/м³, подвергается орошению цир-

кулирующей водой в скруббере, после чего поступает на дальнейшую очистку и обогрев коксовых батарей. а вода после очистки вода возвращается в оборотный цикл на орошение. Расход циркулирующей воды контролируется расходомером [7, 9].

Для решения проблемы повышения эффективности эксплуатации, снижения энергоемкости, повышения степени очистки газа, с целью повышения поверхности контакта рабочей среды модифицировали виды насадок и тарелок, а также начали вторично использовать абсорбирующую жидкость. В результате необходимо в расчет количества подаваемой воды внести необходимые поправки, что приведет к следующему виду выражения:

$$Q_{\text{ж}} = K \cdot Q_{\text{г}} \frac{C_{\text{исх}}}{C_{\text{ост}}},$$

где: $Q_{\text{ж}}$ – количество воды, подаваемой на орошение,

$Q_{\text{г}}$ – количество очищаемого газа,

$C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация фенолов в газе,

$C_{\text{кон}}$ – конечная концентрация фенолов в газе,

K – $(1,6-5,8) \times 10^{-5}$, коэффициент характеризующий влияние температуры воды на процесс улавливания фенола.

Отличительной чертой данной инновации является то – что возможно регулировать степень очистки газа, за счет подачи определенного количества воды со строго заданной остаточной концентрацией фенолов. Что исключает перерасход воды и снижает энергоемкость процесса. В данном случае вода, после использования её в скруббере с сорбированными в ней фенолами поступает на очистку до остаточного содержания в ней фенолов на уровне 0,1-0,5 мг/л.

Данная проблема может быть решена за счет использования металлической насадки с просечно-вытяжными ромбовидными отверстиями, размеры которых выбраны из условий стойкого поддержания стабильной жидкостной пленки. Каждый последующий ярус насадки устанавливается с поворотом на 45° относительно предыдущего, перед каждым ярусом насадки установлена газораспределительная тарелка.

Задачу настоящих исследований составил технологический расчет скруббера с предложенной насадкой.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для новой конструкции скруббера, был использован совершенной иной вид насадки – металлическая протяжно-вытяжная (ПВ) сетка с ромбовидными отверстиями, которую собирают в блоки (рис. 1.3), из которых формируют насадку по всему диаметру аппарата.

Листы ПВ сетки, квадратной формы, расположены на расстоянии 24 мм друг от друга, в блоке находится 26 листов. Размеры грани листа ПВ 650

мм. Параметры данной насадки: $a = 72 \text{ м}^2/\text{м}^3$, $\varepsilon = 0,87 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $\rho = 158,4 \text{ кг}/\text{м}^3$, $d_s = 0,049 \text{ м}$. (Рис. 4).

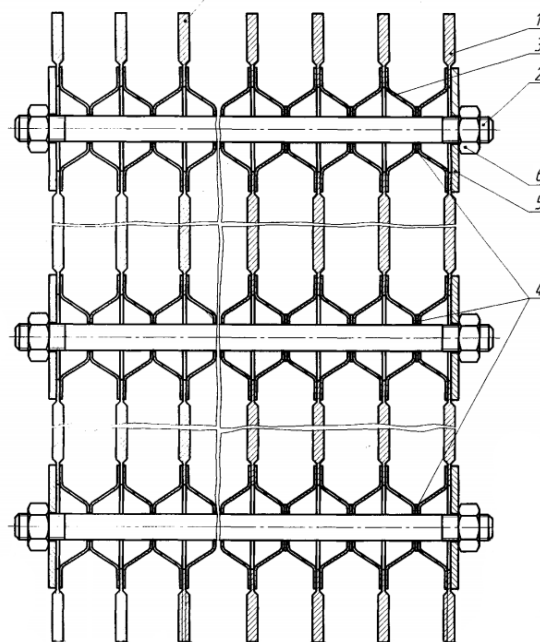


Рис. 4. Блок насадки из протяжно-вытяжной сетки
Fig. 4. Block the nozzle of a long, metal mesh

1 – лист протяжно-вытяжной сетки, 2 – шпилька, 3 – колпачок, 4 – шайба, 5 – шайба, 6 – гайка.

Температура поступающего газа 20°C и давление 0,113 МПа, температура на выходе 30°C и давление 0,11 МПа.

В скруббер поступает газ следующего состава (Табл.1).

Таблица 1. Состав поступающего газа
Table 1. The composition of the incoming gas

Состав:	кг/ч	м ³ /ч	
Сухой коксовый газ	4550	10000	
Водяные пары	120	150	
Углеводороды	155	41	
Сероводород	152	100	
Итого:	4977	10291	

Принимаем потери углеводородов с выходящим газом равными $V_{\text{п}} = 2 \text{ г}/\text{м}^3$ сухого газа, что составляет:

$$V_{\text{п}} = \frac{V_{\text{г}} \cdot Q_{\text{г}}}{1000},$$

где: $Q_{\text{г}}$ – расход сухого коксового газа, м³/ч,
 $V_{\text{п}}$ – потери углеводородов, г/м³:

$$V_{\text{п}} = \frac{10000 \cdot 2}{1000} = 20 \text{ кг}/\text{ч}.$$

Тогда степень улавливания:

$$\eta = \left(1 - \frac{V_{\Pi}}{V_{\text{УГ}}}\right) \cdot 100,$$

где: V_{Π} – потери углеводородов, кг/ч,
 $V_{\text{УГ}}$ – расход углеводородов в газе, кг/ч.

$$\eta = \left(1 - \frac{20}{155}\right) \cdot 100 = 87 \%$$

Количество поглощенных углеводородов:

$$G = V_{\text{УГ}} - V_{\Pi},$$

$$G = 155 - 20 = 135 \text{ кг/ч.}$$

Таким образом, из скруббера выходит (Табл. 2):

Таблица 2. Состав выходящего газа.

Table 2. The composition of the exhaust gas

Состав:	кг/ч	м ³ /ч
Сухой коксовый газ	4550	10000
Водяные пары	120	150
Углеводороды	20	5
Сероводород	152	100
Итого:	4842	10255

Фактическое содержание углеводородов в поступающем газе:

$$a_1 = \frac{1000 \cdot G \cdot T_0 \cdot P}{Q_{\text{общ}} \cdot T_{\text{вх}} \cdot P_0},$$

где: G – количество поглощенных углеводородов, кг/ч,

$Q_{\text{общ}}$ – общий расход поступающего газа, м³/ч,

T_0 – стандартная температура, $T_0 = 273$ °К,

P_0 – стандартное давление, $P_0 = 0,1014$ МПа,

P – давление в аппарате,

$T_{\text{вх}}$ – температура поступающего газа.

$$a_1 = \frac{155 \cdot 1000 \cdot 273 \cdot 0,113}{10291 \cdot 303 \cdot 0,1014} = 15,6 \text{ г/м}^3,$$

и в выходящем газе:

$$a_2 = \frac{1000 \cdot V_{\Pi} \cdot T_0 \cdot P_{\text{ВЫХ}}}{Q_{\text{общ}} \cdot T_{\text{ВЫХ}} \cdot P_0},$$

где: $P_{\text{ВЫХ}}$ – давление газа после скруббера, 0,11 МПа,

$T_{\text{ВЫХ}}$ – температура газа после скруббера, 303 К.

$$a_2 = \frac{20 \cdot 1000 \cdot 273 \cdot 0,11}{10291 \cdot 303 \cdot 0,1014} = 1,91 \text{ г/м}^3.$$

Максимальное содержание углеводородов в поступающем масле определяем по уравнению, справедливому для небольших концентраций:

$$C_{1\text{max}} = 2,24 \frac{a_2 \cdot P_2}{p_{\text{сф}} \cdot M_{\Pi}} \%,$$

где: a_2 – содержание углеводородов в выходящем газе, г/м³,

P_2 – давление газа на выходе из скрубберов, 0,113 МПа,

M_{Π} – молекулярная масса поглотителя, $M_{\Pi} = 170$,

$P_{\text{сф}}$ – упругость паров углеводородов над поступающим маслом, мм рт. ст. при $t = 30$ °С.

Для определения упругости углеводородов над поступающим маслом принимаем следующий состав сырого фенола: фенола 73%, толуола 13%, хинолина 10%, воды 4%.

Для расчета принимаем условно состав сырого фенола в обезфеноленном масле равным составу получаемого сырого фенола.

Упругость компонентов сырого фенола при 30 °С равна, мм рт. ст. (Табл. 3).

Таблица 3. Упругость компонентов сырого фенола
 Table 3. Elastic components of the crude phenol

Фенол	125,6
Толуол	39,5
Хинолин	34
Вода	4,25

Средняя молекулярная масса сырого фенола определяется по формуле:

$$M_{\text{сф}} = \frac{100}{\frac{\%_{\phi}}{M_{\phi}} + \frac{\%_{\tau}}{M_{\tau}} + \frac{\%_{\chi}}{M_{\chi}} + \frac{\%_{\text{в}}}{M_{\text{в}}}},$$

где: $\%_{\chi}$, $\%_{\text{в}}$ – процентные доли компонентов,

M_{ϕ} , M_{τ} , M_{χ} , $M_{\text{в}}$ – молекулярные массы компонентов.

$$M_{\text{сф}} = \frac{100}{\frac{73}{94} + \frac{13}{92} + \frac{10}{130} + \frac{4}{18}} = 82.$$

Молярные доли компонентов в сыром феноле:

$$x_i = \frac{\%_i \cdot M_{\text{сф}}}{M_i \cdot 100},$$

$$x_{\phi} = \frac{73 \cdot 82}{94 \cdot 100} = 0,56,$$

$$x_{\tau} = \frac{13 \cdot 82}{92 \cdot 100} = 0,1,$$

$$x_{\chi} = \frac{10 \cdot 100}{130 \cdot 100} = 0,06,$$

$$x_{\text{в}} = \frac{4 \cdot 82}{18 \cdot 100} = 0,16.$$

Тогда упругость углеводородов при 30 °С будет равна:

$$p_{\text{сф}} = \sum x_i p_i,$$

$$p_{\text{сф}} = 0,56 \cdot 125,6 + 0,1 \cdot 39,5 + 0,06 \cdot 34 + 0,16 \cdot 4,25 = 77 \text{ мм рт. ст.} = 0,01 \text{ МПа},$$

Таким образом, максимальное содержание фенольных углеводородов в поступающем масле равно:

$$C_{1\text{max}} = 2,24 \frac{1,91 \cdot 0,113}{0,01 \cdot 170} = 0,3 \%$$

Действительное содержание C должно быть менее равновесного для создания движущей силы абсорбции вверх скруббера и равно:

$$C_1 = \frac{C_{1\text{max}}}{n},$$

где: n – коэффициент сдвига равновесия, равный 1,1 – 1,2. Принимаем $n = 1,2$:

$$C_1 = \frac{0,3}{1,2} = 0,224.$$

Максимальное содержание углеводов в выходящем из скруббера масле при условии равновесия внизу скруббера определяется по уравнению:

$$C_{2max} = 2.24 \frac{a_1 \cdot P_1}{p_{сф} \cdot M_{II}},$$

$$C_{2max} = 2.24 \frac{15,6 \cdot 0,113}{0,01 \cdot 170} = 2,27 \%$$

Для сдвига равновесия внизу абсорбции принимаем коэффициент сдвига равновесия $n=1,5$:

$$C_2 = \frac{C_{2max}}{n},$$

$$C_2 = \frac{2,27}{1,5} = 1,51.$$

Минимальное количество поглотителя определяется по формуле:

$$L_{min} = \frac{G}{C_{2max} - C_1} \cdot 100,$$

$$L_{min} = \frac{540 \cdot 100}{2,27 - 0,224} = 26441 \text{ кг/ч.}$$

Действительное количество поглотителя составит:

$$L = \frac{G}{C_2 - C_1} \cdot 100,$$

$$L = \frac{135 \cdot 100}{1,51 - 0,224} = 10491 \text{ кг/ч.}$$

Таким образом, в поступающем масле содержится фенольных углеводов:

$$V_{уг.м} = \frac{L \cdot C_1}{100},$$

$$V_{уг.п.м} = \frac{10491 \cdot 0,224}{100} = 23 \text{ кг/ч,}$$

и в выходящем:

$$V_{уг.в.м} = \frac{10491 \cdot 1,51}{100} = 158 \text{ кг/ч.}$$

Следовательно, поглощается маслом:

$$V_{погл.м} = V_{уг.в.м} - V_{уг.п.м},$$

$$V_{погл.м} = 158 - 23 = 135 \text{ кг/ч.}$$

Материальный баланс скруббера, кг/ч (Табл. 4).

Таблица 4. Материальный баланс скруббера.

Table 4. Material balance scrubber.

	Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
Коксовый газ	4977	4842
Поглотительное масло	10491	10491
Углеводороды	23	158
Итого:	15491	15491

ВЫВОДЫ

Таким образом, такая конструкция скруббера намного эффективнее, в плане эксплуатации. Вместо трех скрубберов, с деревянными хордовыми насадками, достаточно одного скруббера предложенной конструкции, при сохранении производительности и эффективности. За счет замены деревянной насадки на металлическую с просечно-вытяжными ромбовидными отверстиями, удалось

увеличить площадь контакта коксового газа с улавливающей жидкостью, так как толщина металлической насадки значительно меньше деревянной, то это позволило в поперечном сечении увеличить контактную площадь газа и жидкости. Установка следующего слоя насадок, с поворотом на 45°, заставляет реагирующие потоки разбиться на более мелкие потоки, что также увеличивает площадь и время контакта за счет увеличения гидравлического сопротивления потокам газам и жидкости при их прохождении через повернутые насадки. Газораспределительные тарелки также несут функцию равномерного и стабильного орошения насадок, за счет патрубков пропуска газов и переливных устройств с распределительными тарелками.

Данные изменения конструкции позволили уменьшить количество скрубберов с трех до одного, сократить количество используемой поглощающей жидкости, затраты на оборудование и его обслуживание. К тому же равномерное омывание всей насадки поглощающей жидкостью обеспечивает эффективность эксплуатации скруббера, что улучшает не только массообменные процессы, а и способствует меньшему зарастанию насадок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В., Булкин В., Поникаров И., Галлеев А., 1987. Аппараты вихревого типа, применяемые для мокрой очистки газов. - Казань, - 22.
2. Алиев А., 1986. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. - Metallurgia, - 320.
3. Андоньев С., Филиппев О., 1979. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. - М.: Metallurgia, - 60.
4. Апостолов С., 2005. Промышленная экология - 474.
5. Ветошкин А., 2005. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, - 210.
6. Диденко В., Малахова Т., 2002. Совершенствование методов и средств жизнеобеспечения, пожарной безопасности и охраны окружающей среды., - 4.
7. Дытнерский Ю., 1991. Основные процессы и аппараты химической технологии - Пособие по проектированию. М.: Химия, - 496.
8. Козлова С. и др., 2007. Оборудование для очистки газов промышленных печей. Красноярск. - 156.
9. Коробчанский И., Кузнецов М., 1972. Расчеты аппаратуры для улавливания химических продуктов коксования. М.: Metallurgia, 2-е изд., 296.
10. Лашинский А., Толчинский А., 1970. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Справочник. Л.: Машиностроение.

11. Лацинский А., 1981. Конструирование сварных химических аппаратов -Справочник. Л.: Машиностроение.
12. Николаева Г., 2005. Массообменные процессы: Учебное пособие. – Улан-Удэ: изд-во ВСГТУ,. – 238.
13. Редько А., Капцов И., 2014. Пеногенератор высокократных пен для очистки газопроводов под давлением.// MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin: Polish Academy of sciences - vol. 16, No 16.– 101 – 108.
14. Редько А., Бабенко Е., 2014, Гидратообразование в газовом эжекторе.// MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin: Polish Academy of sciences - vol. 16, No 16. – 19 – 26.
15. Шаприцкий В., 1965. Очистка от загрязнений воздуха в металлургии. - М.: Металлургия. - 232.
16. Dermot R., 2010. Advanced power plant materials, design and technology Oxford, Cambridge, New Delhi, 446.
17. Santa C., Agilent Technologies, Agilent Gas Clean Filter System 2013. – 50.
18. Sakura G., Andrew Y., 2015. Experimental Study of Particle Collection Leung. – 5.
19. Sebastian B., 2009. Cyclone Separators; Physics behind them and how they work. Specialization Course December 2012. – 18.
20. Zwart R., 2009. Gas cleaning downstream biomass gasification.– 65.

CLEANING OF EMISSIONS FROM COKE OVENS
AT
SCRUBBER PACKED TYPE

Summary. The results of theoretical research of new design scrubber expanded - exhaust nozzle

Key words: scrubber nozzle, gas cleaning, coke oven gas, cyclones.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗРУШЕННОГО КОЛЛЕКТОРА В ХАРЬКОВЕ

Дмитрий Гончаренко, Дмитрий Бондаренко, Алексей Гармаш

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
 Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40
 E-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua

Аннотация. Проведен анализ состояния канализационных сетей г. Харькова. Рассмотрены способы восстановления канализационных сооружений при их коррозионном разрушении. Представлен процесс восстановления канализационного коллектора глубокого заложения, разрушенного в результате коррозии.

Ключевые слова: канализационные коллекторы, анализ состояния, коррозия.

ВВЕДЕНИЕ

Длина канализационных сетей Харькова по состоянию на 01.01.2012 г. составляет 1619,58 км, в том числе 55,57 км тоннельных коллекторов, которые построены методом щитовой проходки. Тоннельные коллекторы являются коллекторами глубокого заложения. Средняя глубина заложения тоннельных коллекторов около 20 м, наиболее глубокие заложены на 50 м [16].

Длина сетей водоотведения со 100 % амортизационный износ составляет 1307,6 км. 51 % труб имеют срок эксплуатации более 50 лет (для керамических труб – 100 %), 47,7 % труб имеют срок эксплуатации от 25 до 50 лет и только 1,3 % – менее 25 лет (рис. 1) [6, 16].

Проблема сохранения и восстановления дей-

ствующих коллекторов водоотведения особенно актуальна теперь в связи с возросшими требованиями к экологии. При этом одной из важных задач является защита грунтовых вод от различных агрессивных реагентов, которые могут попадать в грунтовые воды через разрушенные конструкции систем водоотведения.

Вопросам обеспечения надежности подземных инженерных коммуникаций Харькова посвящены работы И. Абрамовича [1-3], Д. Гончаренко [4-12], И. Коринько [7, 8, 15], Е. Клейна [5, 13], А. Коваленко [14] и др.

Как известно, большая часть канализационных трубопроводов и тоннельных коллекторов в промышленных центрах Украины, в том числе в Харькове, построена в последние 50-60 лет из бетона и железобетона.

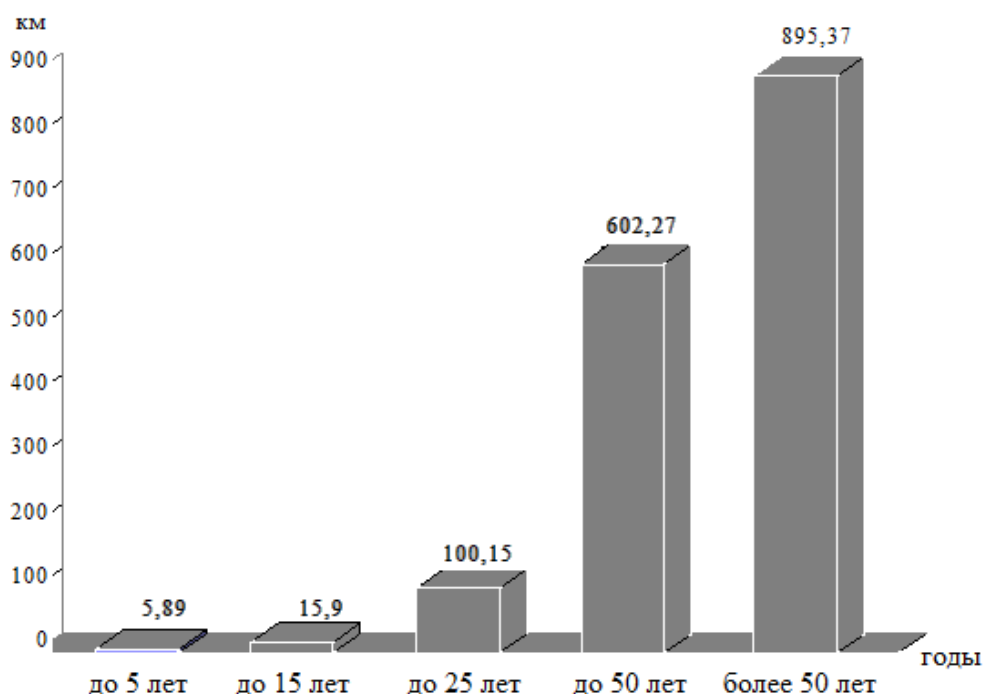


Рис. 1. Характеристика канализационных сетей за показателем срока эксплуатации

Fig. 1. Characteristics of sewerage systems for the life of the index

Главной причиной их разрушения является внешняя и внутренняя коррозия [17-20].

При эксплуатации железобетонные коллекторы подвергаются агрессивному воздействию снаружи (от грунтовых вод) и внутри (от транспортируемых вод) (рис. 2) [14, 18, 21]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что разрушение труб под действием грунтовых вод и грунтов составляет около 10 % всех случаев коррозионного повреждения.

Внешняя коррозия связана с агрессивностью грунтовой воды, наличием агрессивных веществ в грунтах, а также с электрическим воздействием. Причиной внутренней коррозии являются агрессивные

стоки и биогенная среда, вызывающая сернокислотную коррозию.

Говоря о коррозии внутренней поверхности канализационных тоннельных коллекторов, следует помнить, что при их проектировании необходимо особое внимание обращать на контроль наличия коррозии и состав транспортируемых сточных вод, а также на обеспечение качественного обслуживания канализационных сетей. В любом случае в проекте должны быть предусмотрены меры по предотвращению образования сероводорода в канализационном тоннельном коллекторе [17].



Рис. 2. Внутренняя поверхность канализационных тоннельных коллекторов, разрушенная коррозией

Fig. 2. The inner surface of the sewer tunnel collectors destroyed by corrosion



Рис. 3. Первичная стадия проседания грунта в зоне повреждения коллектора

Fig. 3. The primary stage of subsidence in the area of damage to the collector

В декабре 2014 г. произошло обрушение разгрузочного коллектора ХТЗ вблизи шахты №4 в Харькове. На поверхности, в районе прохождения коллектора, была обнаружена просадка грунта глубиной до 11 м на расстоянии 6-8 м по направлению к шахте №8 (рис. 3) [12].

Коллектор был построен методом щитовой проходки в 1969 г. Глубина залегания коллектора порядка 14 м.

Как следует из технической документации основным конструктивом коллектора являются сборные железобетонные тубинги размером 1370×770×200 мм и 1210×770×200 мм. Армированные тубинги изготовлены в заводских условиях из бетона марки 300.

Внутренняя поверхность коллектора имеет внутреннюю бетонную обделку толщиной 160 мм из бетона марки 200. Представленная проектная документация не дает возможности установить, какая в проекте была заложена водонепроницаемость конструкций коллектора.

Железобетонные блоки изготавливались в соответствии с чертежами Спецшахтподземстроя. Объем блока составляет порядка 0,183 м³ при весе 455 кг. К монтажным петлям блока в дальнейшем приваривалась арматурная сетка обделки коллектора.

Обследование конструкций коллектора показало следующее. Вследствие действия коррозионных

процессов обделка коллектора вблизи шахтного ствола полностью пришла в негодность.

В результате коррозии был разрушен один из блоков коллектора, который обвалился внутрь коллектора. Его крупные обломки находятся на дне коллектора напротив места обрушения. Кроме этих обломков на дне коллектора обнаружены грунтовые отложения, обрушившиеся туда из надколлекторного пространства после падения блока (рис. 4).

Таким образом, в месте обрушения образовались отложения, препятствующие транспортированию сточных вод. До начала восстановления свода коллектора были выполнены работы по временному закреплению свода коллектора в месте обрушения тубинга (рис. 5) [12].

В результате проведенных обследований на месте обрушения коллектора был сделан вывод о невозможности восстановления свода с внутренней части коллектора.

Принимая во внимание тот факт, что обрушение произошло на расстоянии 3,5 м от существующей смотровой шахты, было принято решение об устройстве вертикальной крепи над местом обрушения.

После устройства вертикальной крепи конструкция временного закрепления свода коллектора (рис. 5) удаляется и дополнительно демонтируются несколько тубингов, что позволяет обустроить доступ в коллектор (рис. 6).



Рис. 4. Дно коллектора в месте падения тубинга

Fig. 4. The bottom of the reservoir at the site of the fall of the tubing



Рис. 5. Фотофиксация состояния конструкций тоннельного коллектора

Fig. 5. Photofixation state structures tunnel collector



Рис. 6. Состояние коллектора после демонтажа тубингов

Fig. 6. State of the collector after the dismantling of tubing

Спроектированная крепь, размером в плане $5,2 \times 5,6$ м, представляет собой набор горизонтальных рам, расположенных по высоте котлована на отметках: 0,0 м; -1,6 м; -3,2 м; -4,8 м; -6,4 м; -7,6 м; -8,8 м; -10,0 м; -11,2 м (рис. 7). Все крепи на указанных

отметках представляют собой прямоугольные в плане горизонтальные рамы размерами в осях $4,5 \times 5,5$ м. Для предотвращения обсыпания грунта по внешней конструкции крепи предусмотрен дощатый настил из деревянных брусков толщиной 100 мм.



Рис. 7. Крепь для проведения ремонтно-восстановительных работ

Fig. 7. Support prop for repair work

После обустройства крепи был проведен анализ состояния поврежденной сводовой части коллектора. Исследования поверхности в обрушенном разгрузочном коллекторе ХТЗ вблизи шахты №4 в Харькове [12, 17] показали, что при строительстве коллектора обделка была запроектирована из бетона марки 200, что не соответствует современным требованиям, изложенным в нормативных документах, а именно ДБН В. 2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування».

Были рассмотрены несколько способов восстановления поврежденного коллектора. Одним из них является проталкивание коротких полиэтиленовых труб SPIRO диаметром 1600 мм. Необходимо отметить, что при использовании этого метода растягивающих усилий между новыми трубами не возникает. Тяговый канат, находящийся внутри нового трубопровода, крепят к опорной траверсе, а ее – к торцу каждой вновь устанавливаемой для наращивания трубы. Поскольку трубы работают только на сжатие, испытывать их на растягивающее усилие нет необходимости. Протягивание осуществляется с помощью лебедки. Недостатком метода является то, что в процессе протягивания может произойти перекашивание труб, их смещение, образование трещин. Вероятность этого возрастает, если наружная поверхность восстанавливаемой трубы неровная. В таких случаях проводят дополнительные мероприятия: на внутренней трубе устанавливают специальные фиксаторы или передвижные транспортные зажимы со скользящими полозьями либо роликами [2, 8, 17].

Отдельного внимания заслуживает метод восстановления коллектора с использованием стеклопластиковых труб.

Для этой цели были выбраны стеклопластиковые трубы с внутренним диаметром 1600 мм. Внешний максимальный диаметр с учетом наружного диаметра муфты составляет 1705 мм.

Особое внимание при монтаже стеклопластиковых труб уделяется их стыковке.

Для восстановления рассматриваемого участка сети возможен вариант наращивания труб в двух направлениях, начиная от центра участка коллектора.

В этом случае подача труб осуществляется с помощью электрокар или специальных тележек. Соединение выполняется с помощью муфт.

При этом трубу необходимо вставлять в муфту до касания трубой стопора муфты. В случае труб больших диаметров, что имеет место в данном случае, после их установки внутрь может войти специалист и проверить сопряжение стопора и трубы. Однако в случае труб меньших диаметров для проверки сопряжения трубы и стопора должны применяться другие методы, поскольку при этом нет возможности

проникновения внутрь. Для таких случаев необходимо измерить и отметить на трубе расстояние от внешнего края муфты до стопора. Трубу проталкивают внутрь муфты до достижения отмеченным участком конца муфты.

Принимая во внимание тот факт, что в рассматриваемом коллекторе разрушению была подвергнута в основном сводовая часть, был выбран вариант нанесения покрытия, и восстановления сводовой части коллектора с использованием торкретфибробетона. Восстановление выполнялось из бетона класса С25/30 (марка М400) с применением полимерной фибры. Перед торкретированием устанавливалась рабочая кольцевая композитная стеклопластиковая арматура периодического профиля диаметром 8 мм, с временным сопротивлением на разрыв $\sigma_c = 520$ МПа. Расчетное сопротивление стеклопластиковой арматуры $R_s = 520/1,4 = 370$ МПа, что эквивалентно по прочностным характеристикам классу стальной арматуры А400С. Защитный слой $a = 3$ см. Шаг арматуры 100 мм.

На рис. 8, 9 показано крепление арматурной сетки к поверхности коллектора после ее очистки от продуктов коррозии.

Технологический процесс восстановления коллектора с использованием торкретфибробетона состоит из следующих операций:

- подготовительная работа с очисткой стен от продуктов коррозии,
- крепление арматуры к сохранившимся конструкциям с помощью специальных анкерных элементов,
- нанесение первичного слоя фибробетона толщиной 50 мм,
- нанесение вторичного слоя толщиной 50 мм.

ВЫВОДЫ

Контроль состояния канализационных сетей глубокого заложения является актуальной задачей в связи с аварийным и предаварийным состоянием значительной части канализационных сетей в городах Украины. Для контроля состояния, работоспособности и надежности на коллекторах глубокого заложения необходимо предусмотреть устройство наблюдательных скважин и в течении всего срока эксплуатации проводить плановый контроль уровня грунтовых вод в скважинах и своевременно выявлять участки фильтрации сточных вод в грунты.

Выполненные работы по восстановлению и усилению аварийного участка позволили продлить срок эксплуатации данного коллектора без уменьшения его пропускной способности.



Рис. 8. Армирование стеклопластиковой арматурой сводовой части коллектора

Fig. 8. Reinforcement fiberglass reinforcement crest of the reservoir

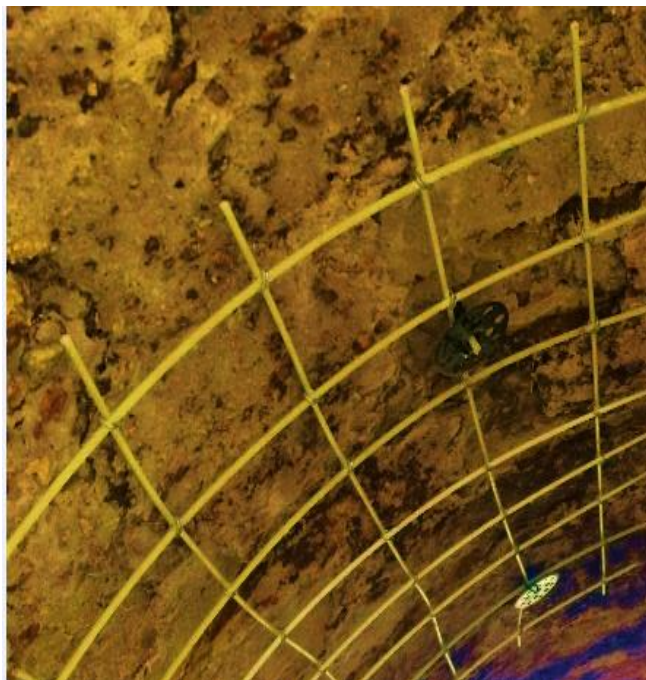


Рис. 9. Сетка из стеклопластиковой арматуры и анкеры для крепления к сводовой части коллектора

Fig. 9. A grid of fiberglass reinforcement and anchors for attaching to crest of the reservoir

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович И., 1997. Канализация города Харькова (1912–1980 гг.). Опыт проектирования и строительства. – Харьков: Основа. – 220.
2. Абрамович И., 1996. Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод. – Харьков: Основа. – 316.
3. Абрамович И., 2005. Сети и сооружения водоотведения: расчет, проектирование, эксплуатация. – Харьков: Коллегиум. – 228.
4. Гончаренко Д., 2008. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. – Харьков: Консум. – 400.
5. Гончаренко Д., Алейникова А., 2013. Водопроводные сети г. Харькова и возможные пути повышения их эксплуатационной долговечности // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 15. – № 6. – 3-10.
6. Гончаренко Д., Булгаков Ю., Старкова О., 2014. Организационно-технические решения ремонта и восстановления канализационных коллекторов города Харькова // Вода и экология: проблемы и решения. – СПб.: ЗАО «Водопроект-Гипрокоммунводоканал Санкт-Петербург». – Вып. 1 (57). – 62-70.
7. Гончаренко Д., Клейн Е., Коринько И., 1999. Ремонтно-восстановительные работы на канализационных сетях в водонасыщенных грунтах. – Харьков: Прапор. – 160.
8. Гончаренко Д., Коринько И., 1999. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений. – Харьков: Рубикон. – 365.
9. Гончаренко Д., Олейник Д., Кайдалов П., 2014. Особенности возведения коррозионностойких шахтных стволов глубокого заложения на действующих сетях водоотведения // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 16. – № 6. – 3-10.
10. Гончаренко Д., Старкова О., Булгаков Ю., 2015. Вероятностная модель определения срока службы канализационных каналов // Водопостачання та водовідведення: Вироб.-практ. журнал. – Київ. – 35-39.
11. Гончаренко Д., Старкова О., Булгаков Ю., Олейник Д., 2014. Эксплуатационная долговечность инженерных коммуникаций глубокого заложения // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – Вип. 1 (75). – 33-39.
12. Гончаренко Д., Убийвовк А., Бондаренко Д., Булгаков Ю., 2015. Оценка несущей способности крепи канализационного тоннельного коллектора и выбор методов его восстановления // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – Вип. 5 (79). – 66-71.
13. Клейн Е., Выставной Г., 1994. По пути совершенства. – Харьков: ООО «Оригинал-р». – 64.
14. Коваленко А., 1997. Аварийно-восстановительные работы на водоотводящей сети // Комунальне

- господарство міст. – Київ: Техніка. – Вип. 7. – 22–24.
15. Коринько И., 2003. Научное обоснование и разработка организационно-технологических решений, повышающих эксплуатационную долговечность систем водоотведения: дисс... докт. техн. наук: 05.23.08 / Коринько Иван Васильевич. – Харьков. – 415.
16. Программа развития КП «Харьковводоканал» до 2026 года. – Харьков, 2013. – 115.
17. Розенталь Н., 2011. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод // Бетон и железобетон. – М.: Лада. – Вып. 2. – 78-86.
18. Stein D., 1998. Instandhaltung von Kanalisation. – Ernst&Sohn. – 941.
19. Stein D., 2005. Practical Guideline for the Application of Microtunneling Methods. – Stein & Partner Germany. – 112.
20. Stein D., 2005. Trenchless Technology for Installation of Cables and Pipelines. – Stein & Partner GmbH. – 766.
21. Stein R., Ghaderi Sh., 2009. Wertemittung von Abwassernetzen. – Stein & Partner, Fraunhofer IRB Verlag. – 131.

RECONSTRUCTION OF DESTROYED COLLECTOR IN KHARKIV

Summary. The analysis of sewer networks of Kharkiv. The methods of restoring sanitation facilities at their corrosion destruction are proposed. Presented recovery process sewer deep foundations, destroyed by corrosion.

Key words: sewers, analysis of a condition, corrosion.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ СТОЧНЫХ ВОД И АКТИВНОГО ИЛА НА ВЫХОДЕ ИЗ АЭРОТЕНКА

Стелла Горносталь¹, Елена Петухова¹, Тамара Айрапетян²

¹Национальный университет гражданской защиты Украины

Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94

E-mail: gornostals@yandex.ru

²Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Революции, 12

E-mail: tamara78kh2008@rambler.ru

Аннотация. Исследовано влияние аэрации на качество очистки сточных вод в аэротенке в зависимости от варианта подачи сточных вод. Полученные результаты позволяют усовершенствовать технологический режим работы аэротенка и определить необходимые характеристики для его эффективной работы.

Ключевые слова: биологическая очистка, сточные воды, аэрация, аэротенк.

ВВЕДЕНИЕ

Результатом производственной и хозяйственной деятельности человека является интенсивное загрязнение гидросферы. Прежде всего, связано это с выпуском недостаточно очищенных бытовых и промышленных стоков в водоемы. Они содержат значительное количество органических веществ, служащих питательной средой для различных, в том числе и патогенных, микроорганизмов. В производственных сточных водах могут содержаться токсические примеси.

Попадание сточных вод в водоемы без очистки или с недостаточной степенью очистки представляет серьезную угрозу для населения, приводит к ухудшению экологической ситуации и возникновению опасности для здоровья людей и животных. В последние годы в Украине наблюдается постепенное снижение количества сточных вод, сбрасываемых в водные объекты. Однако процент недостаточно очищенных вод и вод без очистки к общему количеству сбрасываемых стоков остается достаточно высоким.

Одними из самых трудно извлекаемых загрязнений, содержащихся в городских сточных водах, являются мелкодисперсные и растворенные органические вещества [1, 7, 12]. Физико-химические методы их извлечения достаточно дороги и малоприменимы при больших расходах сточных вод. Поэтому самым результативным на сегодняшний день остается метод биологической очистки. Его использование обеспечивает деструкцию сложных органических загрязнений, осуществляемую безреагентным путем в обычных физико-химических условиях и с минимальными затратами энергии.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Биологическая очистка сточных вод осуществляется в сооружениях с прикрепленной (био-

фильтры), свободноплавающей (аэротенки) и со смешанной (аэротенки с насадками, биотенки) микрофлорой. Они получили распространение благодаря своей универсальности и эффективности. Однако в последние годы специалисты приходят к выводу, что классические модификации аэротенков (смесители, вытеснители, с отдельной регенерацией активного ила, двухступенчатые аэротенки) хотя и позволяют достигать необходимую степень очистки, но технические возможности их практически исчерпаны.

Традиционные аэротенки при всех их положительных качествах обладают рядом существенных недостатков: неравномерной по длине нагрузкой на активный ил; дефицитом растворенного кислорода в начальных наиболее нагруженных зонах сооружения и его избытком в конечных зонах, неоправданно увеличивающим безвозвратные потери кислорода со сбрасываемой из очистных сооружений очищенной водой [6, 8].

Жесткие условия эксплуатации при несовершенстве технологического режима приводят к систематическим нарушениям условий работы аэротенков. Дальнейшее развитие может идти по пути совершенствования технологического процесса в существующих сооружениях или радикального изменения конструкции [20-22].

Сложность внесения конструктивных изменений связана с большими размерами сооружений и необходимостью значительных финансовых затрат. Внедрение современных способов управления работой сооружений позволяет с минимальными затратами повысить эффективность их работы. В настоящее время распространение получили такие направления:

- управление качеством поступающих сред [5, 17];
- регулирование количества поступающих сред [4, 15, 16];
- внесение изменений в технологический регламент работы сооружений [18, 19].

Существует большое количество работ, в которых рассматриваются вопросы взаимосвязи составляющих процесса и влияния отдельных факторов на протекание биологической очистки сточных вод [2, 3, 6,

13, 14, 23]. На сегодняшний день реализована лишь малая часть возможных решений, способных качественно улучшить работу сооружений. Поэтому актуальной остается задача совершенствования существующих и создания новых, экологически безопасных технологических процессов, способных обеспечить рациональное использование водных ресурсов и соблюдение нормативов предельно допустимых сбросов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является исследование влияния аэрации по секциям аэротенка на качество очистки сточных вод. Объект исследования - 4-х коридорный аэротенк промежуточного типа с рассредоточенной подачей сточных вод и сосредоточенной подачей активного ила (рис.1).

Особенностью данного сооружения является наличие на распределительном канале 4-х впускных окон (О.1, О.2, О.3, О.4), через которые в секцию аэротенка подается сточная вода на очистку. Это позволяет варьировать подачу сточных вод, открывая

или закрывая впускные окна на канале.

Рассмотрены разные комбинации подачи стоков. В данной работе приведены результаты исследований для вариантов подачи через все четыре впускные окна О.1, О.2, О.3, О.4 (аэротенк-смеситель), а также вариант подачи сточных вод только через четвертое окно О.4 (аэротенк-вытеснитель с продленной регенерацией ила), окна О.1, О.2, О.3 – закрыты.

Для расчетов использована математическая модель процесса биологической очистки в системе сооружений «аэротенк – вторичный отстойник». Ее решение позволило изучить и проанализировать влияние разных факторов на протекание процесса биологической очистки.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Используя предложенную ранее математическую модель процесса биологической очистки сточных вод [9, 10], было проведено исследование влияния аэрации на процессы очистки.

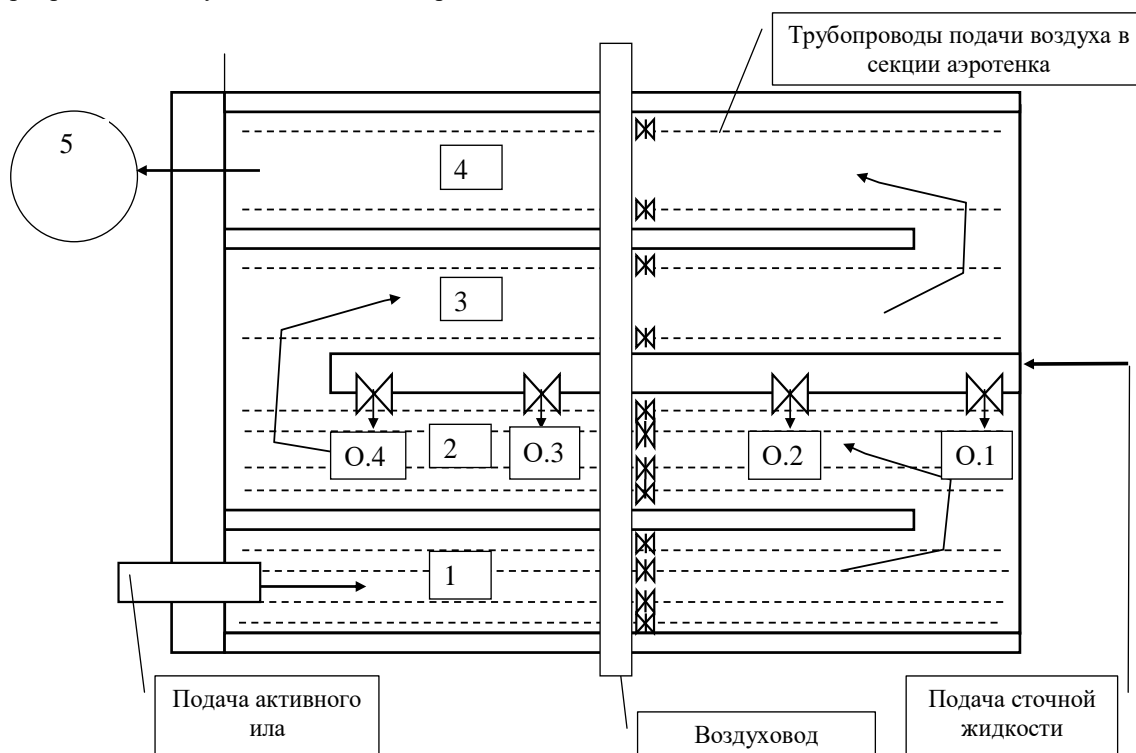


Рис. 1. План секции четырехкоридорного аэротенка:

1 – первый коридор, 2 – второй коридор, 3 – третий коридор, 4 – четвертый коридор, 5 – вторичный отстойник; О.1 – первое впускное окно, О.2 – второе впускное окно, О.3 – третье впускное окно, О.4 – четвертое впускное окно

Fig. 1. Plan section of the aeration tank 4 corridors:

1 - the first corridor, 2 - second corridor, 3 - the third corridor, 4 - the fourth corridor, 5 - secondary settling tank; O.1 - first inlet window, O.2 - second inlet window, O.3 - third inlet window, O.4 - fourth inlet window

$$\frac{dX}{dt} = (-a_x + b_x \cdot L) \cdot X + k_2 G \cdot X \cdot Z - k_1 \cdot G^m \cdot X + k_4 \cdot S \cdot X, \quad (1)$$

$$\frac{dZ}{dt} = (-a_z + b_z \cdot L) \cdot Z - k_2 \cdot G \cdot X \cdot Z + k_1 \cdot G^m \cdot X + k_4 \cdot S \cdot Z, \quad (2)$$

$$\frac{dL}{dt} = -(g_x X + g_z Z)L, \quad (3)$$

$$\frac{dS}{dt} = (k_3 - k_4 S)(X + Z), \quad (4)$$

где: X, Z, S, L – концентрации, соответственно, хлопьев, дисперсных бактерий, продуктов автолиза и загрязнений, г/дм³,

k_1 – константа скорости диспергации хлопьев, мин,

k_2 – константа, характеризующая скорость агрегации хлопьев, дм³/г,

G – градиент скорости в турбулентном потоке, учитывающий расход воздуха, мин⁻¹,

k_3 – константа, определяющая скорость образования продуктов автолиза, мин⁻¹,

k_4 – константа, определяющая скорость окисления продуктов автолиза, дм³·(г·мин)⁻¹,

m – константа пропорциональности,

a_x – скорость отмирания хлопьев, дм³·(г·мин)⁻¹,

a_z – скорость отмирания дисперсных бактерий, дм³·(г·мин)⁻¹,

b_x, b_z – скорости образования хлопьев и дисперсных бактерий за счет размножения, мин⁻¹,

g_x, g_z – скорости потребления загрязнений хлопьями и дисперсными бактериями, дм³·(г·мин)⁻¹.

Рассматриваемая модель представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Независимой переменной является время движения потока по коридору аэротенка. Временной интервал разбивается на участки, границы которых задаются местом подачи сточных вод. Согласование решений на границах участков позволяет учесть объем загрязнений за счет введения соответствующих концентраций.

Уравнение (1) описывает изменение концентрации хлопьев с учетом таких процессов, как потребление загрязнений, агрегации дисперсных бактерий в хлопья, распада хлопьев на дисперсные бактерии в результате аэрации, процесс потребления продуктов автолиза, отмирание хлопьев.

Уравнение (2) описывает изменение концентрации дисперсных бактерий с учетом следующих процессов: потребление загрязнений, агрегации дисперсных бактерий в хлопья, распада хлопьев на дис-

персные бактерии в результате аэрации, процесс потребления продуктов автолиза, отмирание дисперсных бактерий.

Уравнение (3) описывает изменение концентрации загрязнений, в зависимости от скорости потребления загрязнений хлопьями и дисперсными бактериями.

Уравнение (4) описывает процесс образования продуктов автолиза. Дополнительно в нем учтено, что процесс автолиза является результатом деятельности не только хлопьев, но и дисперсных бактерий.

Результаты численного решения системы уравнений (1)-(4) позволяют проанализировать влияние разных параметров на протекание процессов в аэротенке.

Для исследования влияния аэрации на протекание процесса нами варьировались значения градиента скорости в турбулентном потоке. Важность аэрации определяется тем, что под действием подаваемого воздуха ил поддерживается во взвешенном состоянии и не имеет возможности оседать. При этом интенсивная аэрация способствует возникновению турбулентных движений жидкости, которые приводят к разрушению хлопьев ила на дисперсные составляющие.

Исходя из того, что интенсивность подачи воздуха в 1-2-м коридорах аэротенка больше, чем в 3-4-м, кроме того различаются процессы, происходящие в разных коридорах, исследования выполнялись в три этапа.

На первом этапе рассматривались процессы, происходящие в 1-м коридоре аэротенка (в регенераторе). В него подается только активный ил. На процессы, протекающие в этом коридоре, влияние оказывают только расход активного ила и его концентрация. Сточная жидкость в этот коридор не подается, поэтому результаты не зависят от варианта подачи сточных вод. Поэтому изучалось влияние расхода активного ила, подаваемого в регенератор, и интенсивности аэрации на протекание процесса в 1 коридоре (рис. 1).

Результаты численного расчета приведены на рис. 2. Анализ полученных результатов показал, что концентрация ила на выходе из коридора увеличивается с увеличением расхода ила.

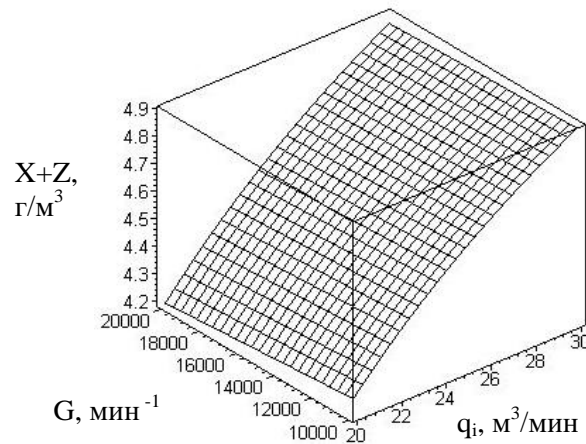


Рис. 2. Изменение концентрации активного ила ($X+Z$) в 1-м коридоре аэротенка в зависимости от его расхода (q_i) и градиента скорости в турбулентном потоке (G)

Fig. 2. Changing the activated sludge concentration ($X + Z$) in the aeration tank 1 corridor, depending on its flow (q_i) and the velocity gradient in turbulent flow (G)

Процессы, происходящие в первом коридоре, а также их длительность оказывают существенное влияние на количество микроорганизмов, поступающих во второй коридор, а значит и на стабильность работы аэротенка.

На втором этапе исследований рассматривался 2-й коридор аэротенка, в котором активный ил смешивается со сточной водой. Интенсивность аэрации во втором коридоре остается такой же, как и в первом. Активная аэрация необходима:

- для большего контакта органических загрязнений с активным илом;
- для поддержания активного ила во взвешенном состоянии, для окисления загрязнений, поступивших со сточной жидкостью.

Нами исследовано влияние интенсивности подачи воздуха и расхода сточных вод на концентрацию ила и загрязнений на выходе из коридора при разных вариантах подачи сточных вод (рис. 3 и 4).

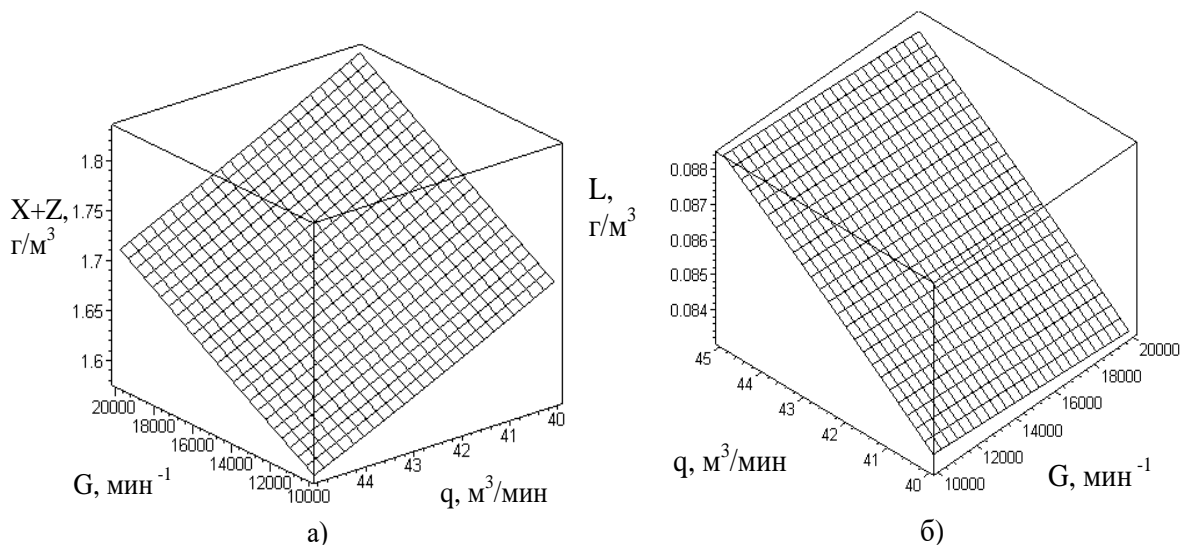


Рис. 3. Изменение концентраций во 2-м коридоре аэротенка при подаче сточных вод только через 4-е окно в зависимости от расхода сточных вод (q) и градиента скорости в турбулентном потоке (G): а) для активного ила ($X+Z$); б) для загрязнений (L)

Fig. 3. Changes in the concentrations in the 2nd passage aeration basin wastewater feeding only through 4th box depending on the flow of sewage (q) and velocity gradients in turbulent flow (G): а) for the activated sludge ($X + Z$); б) for impurities (L)

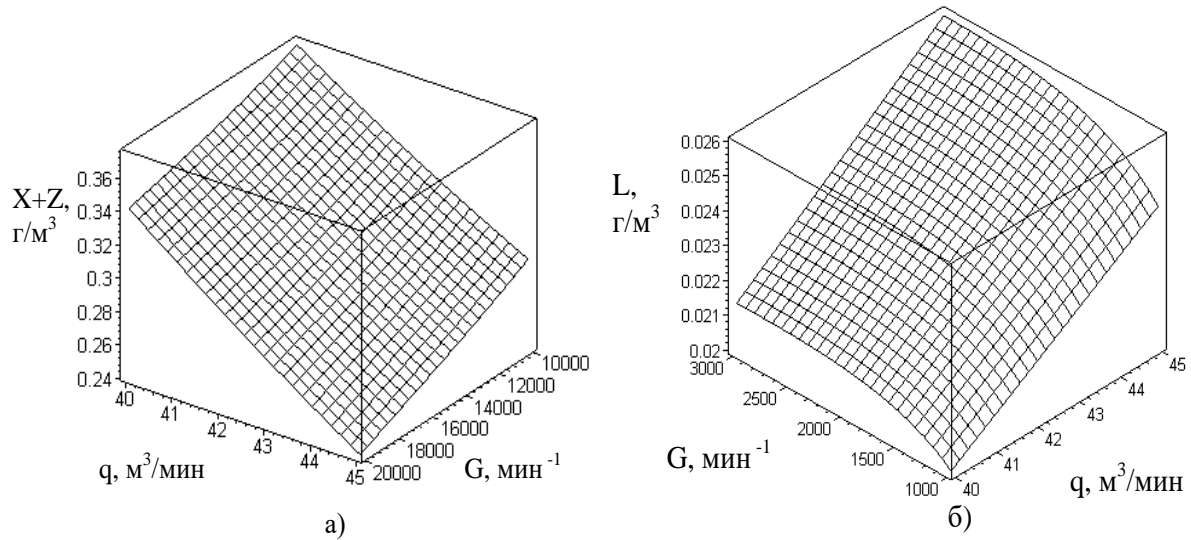


Рис. 4. Изменение концентраций во 2-м коридоре при подаче сточных вод через четыре окна в зависимости от расхода сточных вод (q) и градиента скорости в турбулентном потоке (G): а) для активного ила ($X+Z$); б) для загрязнений (L)

Fig. 4. Changes in the concentrations in the 2nd passage feeding wastewater through the four windows according to the flow of sewage (q) and velocity gradients in turbulent flow (G): а) for the activated sludge ($X + Z$); б) for impurities (L)

Анализ полученных результатов для варианта подачи стоков только через 4-е впускное окно (рис.3) позволил сделать вывод, что на концентрацию ила (рис. 3-а) большее влияние оказывает интенсивность подачи воздуха: с ее увеличением концентрация ила увеличивается. При этом следует отметить, что с увеличением расхода сточных вод и аэрации концентрация ила также возрастает.

На концентрацию загрязнений на выходе из 2-го коридора (рис.3-б) большее влияние оказывает увеличение расхода. Изменение интенсивности аэрации на концентрацию ила на выходе из коридора практически не влияет.

Анализ полученных результатов для варианта подачи стоков через все четыре впускные окна (рис.4) позволяет сказать о том, что на концентрацию ила (рис. 4-а) большее влияние оказывает расход поступающих сточных вод: с его увеличением концентрация ила уменьшается. При этом следует отметить, что уменьшение интенсивности аэрации приводит к приросту активного ила.

На концентрацию загрязнений на выходе из 2-го коридора (рис.4-б) больше влияет увеличение расхода. Изменение интенсивности аэрации не приводит к значительному изменению концентрации ила на выходе из коридора. Максимальное значение концентрации загрязнений достигается при наибольших значениях расхода сточных вод и интенсивности аэрации.

На третьем этапе исследовались процессы, происходящие в 3-4 коридорах. В начале третьего коридора наступают благоприятные условия для развития микроорганизмов, использующих для своего питания углекислый газ, воду, и источник неорганического азота – аммиак, создавая органические вещества своих клеток из неорганических веществ.

Значение процесса нитрификации для очистки сточных вод состоит в накоплении запаса кислорода, который может быть использован для окисления органических веществ, не содержащих азот, тогда, когда полностью израсходован для этого процесса весь растворенный кислород, например, во вторичном отстойнике. Кроме того, его значение в глубоком изъятии аммонийного азота. Процесс нитрификации является конечной стадией минерализации азотсодержащих органических загрязнений.

К концу четвертого коридора свободных питательных веществ для микроорганизмов практически не остается, а все оставшиеся питательные вещества аккумулируются хлопьями, так как для продолжения своего существования микроорганизмам энергетически выгодно уменьшать свою площадь абсорбции и образовывать единые конгломераты в виде хлопьев.

Результаты расчета для третьего этапа приведены на рис.5 и 6.

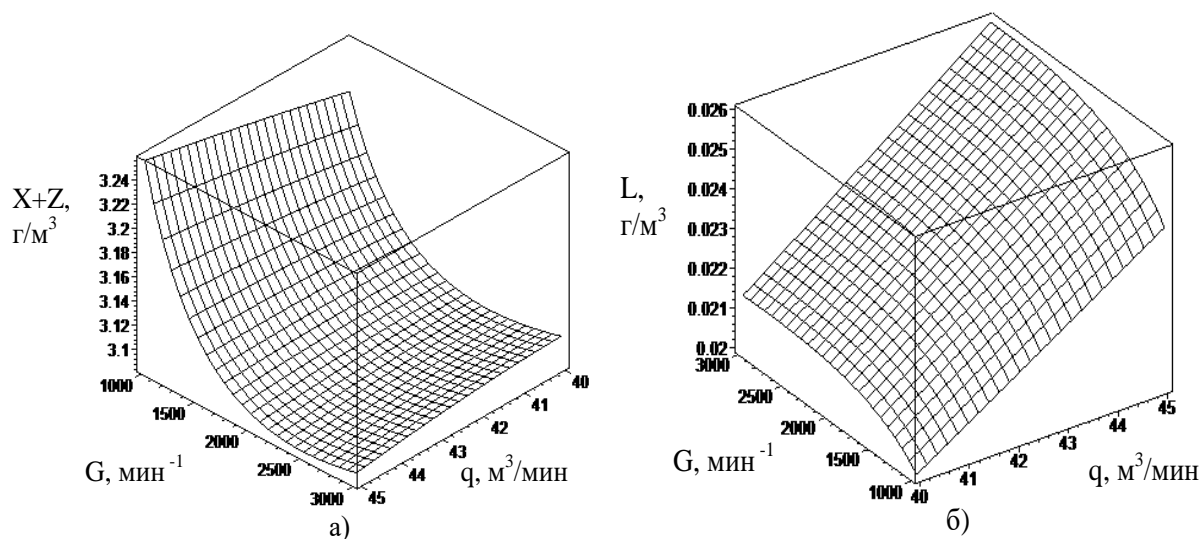


Рис. 5. Изменение концентраций в 3-4 коридорах при подаче сточных вод через четвертое окно в зависимости от расхода сточных вод (q) и градиента скорости в турбулентном потоке (G): а) для активного ила ($X+Z$); б) для загрязнений (L)

Fig. 5. Changes in the concentrations of 3-4 corridors depending on the flow of sewage (q) and velocity gradients in turbulent flow (G): а) for the activated sludge ($X + Z$); б) for impurities (L)

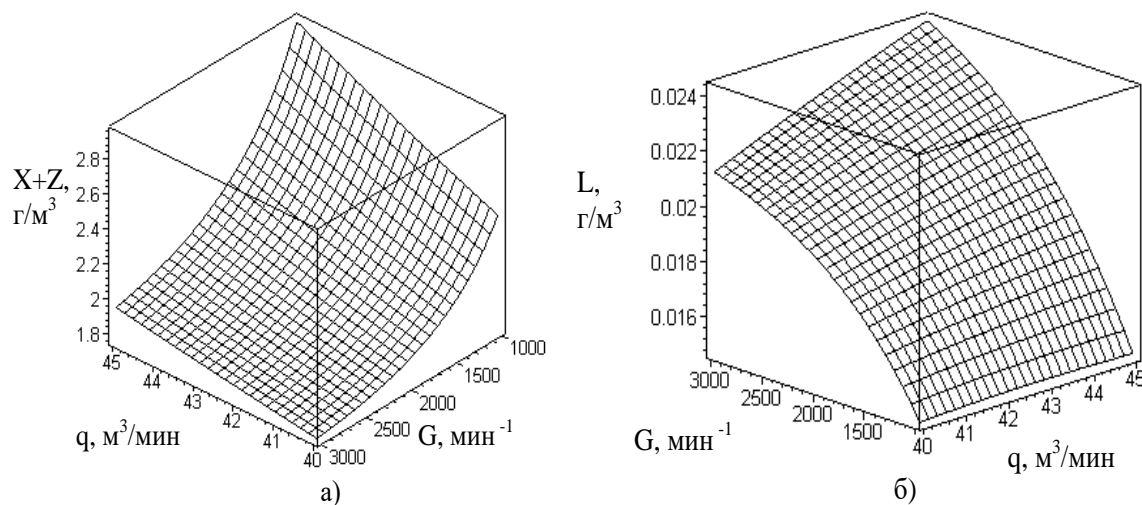


Рис. 6. Изменение концентраций в 3-4 коридорах при подаче сточных вод через четыре окна в зависимости от расхода сточных вод (q) и градиента скорости в турбулентном потоке (G): а) для активного ила ($X+Z$); б) для загрязнений (L)

Fig. 6. Changes in concentration of 3-4 corridors feeding wastewater through the four windows according to the flow of sewage (q) and velocity gradients in turbulent flow (G): а) for the activated sludge ($X + Z$); б) for impurities (L)

Анализ полученных результатов показал, что максимальное значение дозы ила на выходе из аэротенка (рис. 5-а) достигается при минимальных значениях градиента скорости в турбулентном потоке и максимальном расходе сточных вод. Чем меньше расход стоков и интенсивнее подается воздух, тем меньше ила образуется на выходе из сооружения. На

качество очистки большее влияние оказывает интенсивность подачи воздуха (рис. 5-б), а расход сточных вод влияет меньше. Чем меньше расход подаваемых стоков и больше значение градиента скорости в турбулентном потоке, тем меньше концентрация загрязнений на выходе из аэротенка.

Анализируя данные расчетов для варианта подачи сточных вод через все четыре окна, можем сделать вывод, что максимальное значение дозы ила на выходе из аэротенка (рис.6-а) достигается при минимальных значениях градиента скорости в турбулентном потоке и максимальном расходе сточных вод. Чем меньше расход стоков и больше интенсивность аэрации, тем меньше ила образуется на выходе из сооружения. На качество очистки большее влияние оказывает интенсивность аэрации (рис. 6-б), а не расход сточных вод. Влияние расхода сточных вод незначительно при небольшой аэрации и увеличивается с ее ростом.

Полученные результаты показывают, что изменяя режим работы аэротенка и регулируя подачу стоков и воздуха [11], можно добиться значительного улучшения качества очищенных вод с учетом показателей сточных вод, поступающих на очистку. При этом достигается рациональное использование воздуха и экономия электроэнергии.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что в зависимости от точки поступления сточные воды в секцию аэротенка, изменяются концентрация ила и загрязнений в очищаемой жидкости. Это позволяет учесть влияние подачи воздуха без проведения дополнительных экспериментов и определить необходимые технологические и конструктивные характеристики надежной и эффективной работы сооружений очистки. Использование результатов расчета дает возможность:

- в зависимости от расхода поступающих сточных вод выбрать оптимальный режим работы аэротенка.

- для разных вариантов подачи сточных вод учесть влияние аэрации, подобрав режим, при котором количество кислорода, необходимого для протекания аэробных процессов, будет достаточным.

Регулирование воздуха по секциям аэротенка дает возможность не только обеспечить необходимое качество очистки на выходе из сооружений, но и более экономично использовать электроэнергию, расходуемую на работу нагнетателей воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Henze M. 2002. Wastewater treatment – Technomic Publishing AG. – 430.
2. Ghorbani M., Eskicioglu C. 2011. Application of the International Water Association activated sludge models to describe aerobic sludge digestion. // Environmental Technology. - 32(16). – 1923-1938.
3. Gujer W. 2002. Microscopic versus macroscopic biomass models in activated sludge systems. // Water Science & Technology. – Vol. 45, № 6. – 1-11.
4. Pat. 7527735, US, IC C02F 3/00, US Classification 210/605 System for treating wastewater / Inventors Brase, Крэйг С., Attorney/Law Firm Kinney & Lange, P.A. – № 11/507,124, Filed August 21, 2006 Published May 5, 2009.
5. Pat. № 7517454, US, IC C02F 3/00, US Classification 210/620 210/483 210/767 Method for treating wastewater containing active sludge / Inventors Hu; Yen-Jung Chen; Hsi-Yu Hwang; Wen-Chun. Attorney/Law Firm Bliss McGlynn, P.C. – № 11/879,874; Filed July 19, 2007; Published April 14, 2009.
6. Shahriari H., Eskicioglu C., Droste R.L. 2006. Simulating Activated Sludge System by Simple-to-Advanced Models // Journal of Environmental Engineering. - 132(1). – 42-50.
7. Анциферов А., Филенков В. 2013. Повышение эффективности очистки сточных вод промышленных предприятий на биологических очистных сооружениях // Водоочистка. - № 3. – 29-35.
8. Василенко О., Епоян С., Смірнова Г., Корінько І., Василенко Л., Айрапетян Т. 2012. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник. - Київ-Харків, КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив. - 540.
9. Горносталя С. 2013. Исследование процесса биологической очистки сточных вод в системе «аэротенк – вторичный отстойник» // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – № 4. – 164-167.
10. Горносталя С., Созник А. 2008. Описание процессов, происходящих в системе аэротенк – вторичный отстойник, и их физическое моделирование. // Коммунальное хозяйство городов. – №81. – 133-139.
11. Горносталя С., Петухова О., Айрапетян Т. 2015. Практичне застосування результатів моделювання процесу біологічного очищення стічних вод // Науковий вісник будівництва. – Вип. 1(79). – 255-258.
12. Жмур Н. 2003. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. - М.: Акварос. - 512.
13. Олійник О., Айрапетян Т. 2014. Аналіз моделей біологічного очищення стічних вод в аэротенках // Науковий вісник будівництва. – Вип. № 3 (77). - 198-201.
14. Панкратова С., Емельянов В., Сироткин А., Шулаев М. 2010. Математическое моделирование и управление качеством сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. – № 6. – 76-85.
15. Пат. 000912 В1, Евразийское патентное ведомство, МПК⁷ С 02F 3/12, 3/20, 3/30. Способ очистки отходов и устройство для его осуществления /Горонси Мервин Чарльз; заявитель и патентообладатель Бисаско ПТИ, ЛИМИТЕД. – № 199800076; заявл. 21.06.1996; опубл. 26.06.2000.

16. Пат. 55615 А Україна, МПК (2006) G05D 11/00 Спосіб керування процесом біологічного очищення стічних вод в аеротенках і вторинних відстійниках і система для його реалізації / Горбенко В., Гліке А., Грищенко А., Трухан С., Іванько А., Крючкова В., Єрмолаєва Г.; власник патенту Держ. наук.-виробн. підпр. «Науково-інженерний центр автоматизації» наукова корпорація «Київський інститут автоматики». – № 2001129137; заявл. 27.12.2001; опубл. 15.04.2003, бюл. № 4.
17. Пат. 62697 Україна, МПК (2011/01) C02F 3/00 Спосіб керування процесом подачі господарсько-побутових стоків на установки глибокого біологічного очищення стічних вод / Картавцев М., Рогожа Г.; власник патенту ХДАУ. – № u201101639; заявл. 14.02.2011; опубл. 12.09.2011, бюл. №17.
18. Пат. № 2 440 306 С1, Росія, МПК C02F3/30, C02F101/16, C02F103/04 Спосіб забезпечення надійності очистки стічних вод від сполучень азоту і фосфору / Васильєв Б., Трухін Ю., Рублевська О., Ільїн Ю., Ігнатчик В., Ігнатчик С.; патентообладатель Государственное Унитарное Предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга». – № 2010124223/05; заявл. 11.06.2010; опубл. 20.01.2012, бюл. №2.
19. Пат. № 2033973 С1, Росія, МПК⁶ C02F3/02, G05D27/00 Спосіб управління процесом очистки стічних вод / Закиров Д., Петрушевський В., Хусаєнов Р., Пушников Ю.; патентообладатель Научно-исслед. и проектно-констр. институт охраны окружающей среды в угольной промышленности. – № 5031549/26; заявл. 25.07.1991; опубл. 30.04.1995.
20. Похил Ю., Пупырьков Е., Багаев Ю. 2011. Наилучшие доступные технологии в очистке коммунальных сточных вод. // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. № 8 (44). 4-8.
21. А. Смирнов, В. Юрченко, М. Есин, А. Артеменко. 2013. Современные энергосберегающие решения в обработке сточных вод / MOTROL // Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin. – V.15, № 6. – 93-100.
22. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. 2006. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. Пер. с англ. – М.: Мир, – 480.
23. С. Эпоян, И. Шгонда, Ю. Шгонда. 2014. Интенсификация процесса аэрации сточных вод в закрытых циркуляционных окислительных каналах // MOTROL // Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin. – V.16, № 4. – 93-100.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE ON THE PERFORMANCE OF AERATION OF WASTE WATER AND ACTIVATED SLUDGE FROM THE AERATION TANK OUTLET

Summary. The effect of aeration on the quality of wastewater treatment in the aeration tank, depending on the variant of delivery of waste water. The results allow to improve the technological mode of operation of the aeration tank and to determine the necessary characteristics for its effective operation.

Key words: biological treatment, wastewater, air feeding, aeration tank.

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Степан Эпоян¹, Сергей Мовчан²

1 – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Адрес: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

E- mail: vkg.knuca@ ukr.net.

2 - Таврический государственный агротехнологический университет

Адрес: 72310 Запорожская обл., г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 18

E-mail: movchantsaa@rambler.ru

Аннотация. На основе экспериментальных исследований оптимизации состава химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора, определены оптимальные режимы обработки сточных вод, пути снижения энергетических затрат и стабилизации эффективности обработки сточных вод

Ключевые слова: сточные воды, реагентная обработка, химические компоненты, оборотные системы водоснабжения, оптимальная доза, отработанный моющий раствор.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем промышленного производства является поиск эффективных направлений интенсификации работы систем оборотного водоснабжения. Для систем промышленного водоснабжения это сводится к поиску рациональных схем использования воды, эффективной работы очистных сооружений и обеспечения экологически безопасных способов утилизации отходов промышленного производства. Последнее обстоятельство непосредственно зависит от использования в системах водоснабжения наиболее эффективных способов обработки сточных вод. Одним из направлений является использование реагентов для обезвреживания сточных вод отдельных видов промышленных предприятий.

Увеличение объёмов сбрасываемых сточных вод, недостаточно эффективная их обработка по основным загрязнителям имеет все основания для создания условий экологической угрозы. Всё это представляет серьёзные негативные последствия по отношению к окружающей среде.

Значительную часть в этом объёме сточных вод составляют воды гальванических производств, участков и линий промышленных производств. Только на предприятиях машиностроительного комплекса страны доля сточных вод с вышеперечисленных производств находится в пределах 30 - 50 % от общего объёма стоков, образующихся на этих предприятиях.

Поэтому разработка эффективных способов обработки сточных вод, загрязнённых ионами тяжёлых металлов, с использованием реагентов, представляет актуальность рассматриваемого направления исследований и составляет важное хозяйственное значение.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ.

Использование реагентов в системах оборотного и повторного использования воды в промышленном производстве не является новым. Реагенты, используемые для очистки и нейтрализации вредных компонентов в сточных водах промышленных предприятий, имеют преимущества, которые состоят в следующем. Во-первых, эффективно нейтрализуются агрессивные загрязнители сточных вод. Во-вторых, повышается степень интенсификации работы очистных сооружений. В-третьих, создаются условия для существенного сокращения капитальных вложений в систему очистки сточных вод. И, наконец, в четвёртых, уменьшается стоимость очистки за счёт рационального выбора реагентов и ведения реагентного хозяйства отдельных участках и цехах промышленных предприятий.

В химической технологии при очистке отдельных видов промышленных сточных вод в технологии водоснабжения используют более 30 видов различных реагентов. Некоторые из них используются в процессах коагуляции и флокуляции примесей с разной целью. Некоторые для увеличения скорости коагуляции, к которым относятся жидкое стекло и метасиликат натрия. Другие, такие как сода кальцинированная, используются с целью стабилизации процессов обработки. А такие, как каустическая сода, снижают уровень кислотности обрабатываемых сточных вод.

Известно применение электрохимических методов для обработки сточных вод от ионов тяжёлых металлов с использованием электродной системы титан – ОРТА (окисно – рутиниево - титановый анод) в кислой среде. Электролиз хромсодержащих сточных вод с пластинчатыми титановыми катодами и анодами ОРТА

показали, что в кислой среде при $pH = 1,5 \dots 2,0$ при начальных концентрациях шестивалентного хрома $6,4 \dots 80,0$ мг/л возможно его полное восстановление до трехвалентного хрома. Однако в этом случае возрастают удельные затраты электричества от 85 до 785 А час / г. [1,2].

В рассматриваемом способе восстановления шестивалентного хрома с одновременным использованием в бездиафрагменном электролизере двух вышеупомянутых электродных блоков в кислой среде в сравнении с использованием для этой цели обычной электрокоагуляционной обработки сточных вод сокращает почти вдвое количество образующегося в результате очистки осадка и в $1,5 \dots 2,0$ снижает удельные затраты электричества. При осуществлении процесса в нейтральной среде удельные затраты электричества и осадка снижается в 1,3 раза [1].

Интенсификации процесса работы систем оборотного водоснабжения и увеличению степени очистки сточных вод способствует введение химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора и образующегося на данном производстве.

Известен способ регенерации отработанных кислых травильных растворов путем электролиза. С целью регенерации растворов, содержащих соляную, серную или азотную кислоту, с получением кислот концентрацией $5 \dots 22\%$ и порошкообразных металлов, процесс проводят в трехкамерном электролизаторе с заполнением катодной камеры регенерируемым раствором, анодной камеры – кислотой, средней камеры выбранным катализом при плотности тока $20 \dots 50$ А / дм^2 до окончательного содержания металла в катодите $1,5 \dots 15$ вес % [3].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований является повышение степени очистки сточных вод с повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Оптимизировать состав химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора.
2. Исследование процесса обработки сточных вод с повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов.

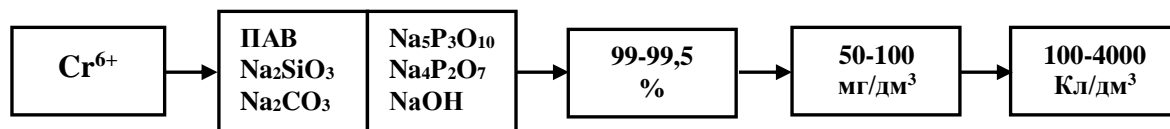


Рис. 1. Блок-схема определения химических компонентов отработанного моющего раствора к шестивалентному хрому

Fig. 1. A block diagram of certain chemical components cleaning solution to the hexavalent chromium

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Процессы очистки сточных вод с содержанием тяжёлых металлов при их обработке реагентами проводили в лабораторных условиях на действующем оборудовании. Определённый состав химических компонентов отработанного моющего раствора (ОМР) исследовали на их оптимальное соотношение и состав в определенном соотношении к шестивалентному хрому. Исследования проводили согласно блок-схеме, наведенной на рис.1. Эффективность очистки сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов проверяли в несколько стадий. В лабораторных условиях определяли количественный состав, соотношение и порядок введения химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора. Для проведения исследований использовали стоки гальванических отделений с широким диапазоном загрязнений: (Cr^{6+} до 350 мг/дм³, Cr^{3+} до 100 мг/дм³, Cu^{2+} до 150 мг/дм³, Fe^{3+} до 200 мг/дм³) и содержанием ионов тяжёлых металлов на выходе: Cr^{6+} до $0,01$ мг/дм³, Cr^{3+} до $0,1$ мг/дм³, Cu^{2+} до $0,11$ мг/дм³, Fe^{3+} до $0,05$ мг/дм³).

Для исследований, направленных на стабилизацию эффективности очистки сточных вод, использовали следующие химические компоненты: поверхностно-активные вещества (ПАВ), $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7:\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ по их оптимальному соотношению к шестивалентному хрому (Cr^{6+}). Состав химических компонентов ОМР оптимизован по их соотношению 1 на 4 (5 или 6) (табл. 1).

При концентрации химических компонентов ОМР: ПАВ: $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7:\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ меньше указанных значений (табл. 1) к весовой части Cr^{6+} степень очистки снижается за счёт создания плохих условий и уменьшения скорости флотации гидроксидов тяжёлых металлов [4].

В случае, когда концентрация химических компонентов ОМР: $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7:\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ больше указанных значений (табл. 1) к весовой части Cr^{6+} увеличивается пассивация электродной системы, что приводит к увеличению расхода электрической энергии [4,5].

Таблица 1. Результаты исследований в граничных условиях при оптимальных значениях с использованием химических компонентов в качестве отработанного моющего раствора
 Table 1. Research results in the boundary conditions at the optimum values with the use of chemical components used as waste cleaning solution

Соотношение химических компонентов ОМР к шестивалентному хрому 1 в од. 4 (5, 6) на 1 в од 4 (5, 6)						Эффективность очистки стоков от ионов тяжёлых металлов, %			Техническое решение
ПАР	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	Na ₃ P ₃ O ₁₀	Na ₄ P ₂ O ₇	NaOH	Cr ⁶⁺	Cr ³⁺	Fe ³⁺	
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	-	-	99,9	99,2	98,0	А.с. №1730045
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	-	-	100,0	99,5	98,5	А.с. №1730046
-	0,05...0,5	0,25...2,5	0,15...0,5	0,05...1,5	-	100,0	99,4	98,0	Пат. №9877А
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	0,05...0,5	0,05...0,5	100,0	99,6	98,5	Пат. №45347
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	0,05...0,5	0,05...0,5	100,0	99,2	99,5	Пат. №64255
0,05...0,5	0,05 ...0,5	0,25...2,5	0,15...1,5	0,15...0,5	0,05...0,5	100,0	99,6	99,5	Пат. № 97943

Зависимость степени очистки сточных вод (С%, %) от концентрации раствора, который добавляется в сточную воду (С, мг/дм³) наведен на рис. 2 [9,14].

Представленные зависимости (рис. 2) степени очистки сточных вод станкостроительного завода (г. Мелитополь, Запорожской области) характеризуются повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов (1- Cr⁶⁺= 180-200

мг/дм³; 2- Cr³⁺= 180-200 мг/дм³; 3- Fe³⁺= 180-200 мг/дм³). На рис. 3 представлены зависимости степени очистки сточных вод металлостамповочного завода (г. Пологи, Запорожской области), содержащие загрязнения на уровне: (1- Cr⁶⁺= 180-200 мг/дм³; 2- Cr³⁺= 180-200 мг/дм³; 3- Fe³⁺= 180-200 мг/дм³; 4- Al³⁺= 180-200 мг/дм³; 5- Zn³⁺= 180-200 мг/дм³).

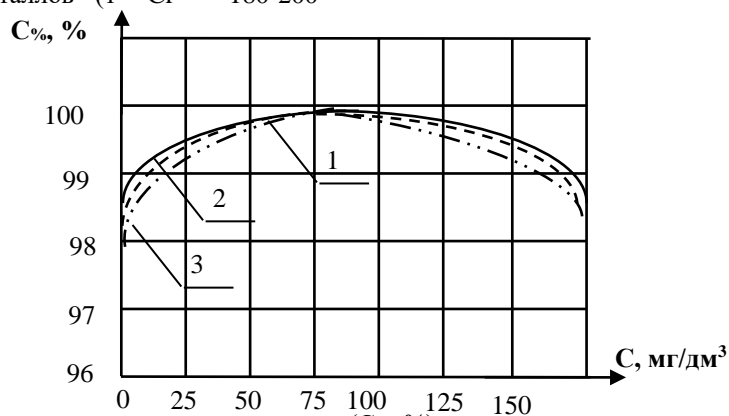


Рис. 2. Зависимость степени очистки сточных вод (С%, %) от концентрации раствора, вводимого в сточную воду (С, мг/дм³), при обработке стоков с повышенным содержанием следующих компонентов: 1- Cr⁶⁺; 2-Cr³⁺; 3-Fe³⁺

Fig. 2. The dependence of the degree of purification of waste water (C%, %) on the concentration of the solution introduced into the wastewater (C, mg / dm³), and working of effluents with a high content of the following components: 1-Cr⁶⁺; 2-Cr³⁺; 3-Fe³⁺

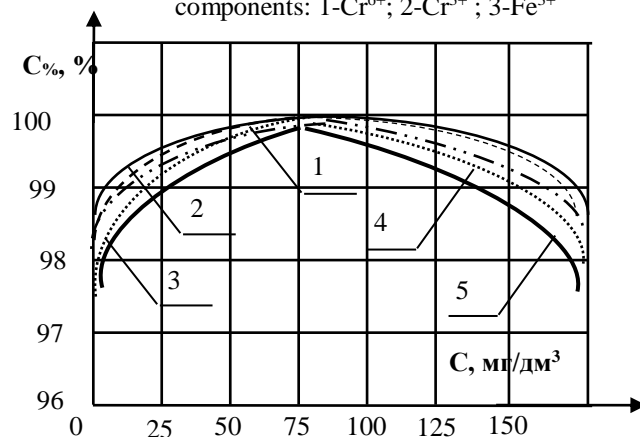


Рис. 3. Зависимость степени очистки сточных вод (С%, %) от концентрации раствора, который вводится в сточную воду (С, мг/дм³): 1- Cr⁶⁺; 2-Cr³⁺; 3-Fe³⁺; 4-Al³⁺; 5-Zn³⁺

Fig. 3. The dependence of the degree of wastewater purification (C%, %) on the concentration of the solution that is injected into the wastewater (C, mg / dm³): 1- Cr⁶⁺; 2-Cr³⁺; 3-Fe³⁺; 4-Al³⁺; 5-Zn³⁺

Оптимальное значение химических компонентов ОМР показывает эффективное значение обработки стоков в пределах 50-100 мг/дм³, что предупреждает пассивацию стальных электродов, создает условия для эффективного выделения гидроксидов тяжёлых металлов в пенный слой за счёт уменьшения хлопьев газовой фазы [4, 9].

При обработке стоков, концентрация которых менее 50 мг/дм³, предложенные способы не позволяют получить высокую степень их очистки вследствие снижения эффективности флотации гидроксидов тяжёлых металлов с пенным шаром, снижения величины рН гидратообразования и увеличения количества крупных хлопьев газовой фазы. Концентрация загрязнений становится критической, обработка стоков в ограниченном пространстве камер реакции аппаратов обработки сточных вод вот снижает эффективность их работы.

Дополнительными преимуществами использования в качестве реагентов химических компонентов ОМР является их повторное использование при определённом дозировании в систему очистки стоков. Использование определённых компонентов реагента создает условия для эффективной обработки сточных вод, стабилизации процессов обработки, а также нейтрализации гидроксидов железа и хрома, образующихся в этих процессах [5,14].

Важной составляющей технологического процесса обработки сточных вод является если не уменьшение, то оптимизация затрат электрической энергии, которая существенным образом влияет на стоимость обработки, нейтрализации и обезвреживания сточных вод гальванических отделений. С целью оптимизации затрат электрической энергии проводились исследования (рис. 4).

Степень очистки хромосодержащих сточных вод определяет эффективность процесса флотации и является определяющим фактором в работе электродной системы, от которой зависит пассивация стальных электродов [4,5,14,18].

Соотношение химических компонентов к Cr⁶⁺ при их использовании для обработки сточных вод гальванических отделений на заявленном техническом уровне представлено на рис. 5:

Оптимальная доза химических компонентов ОМР, находящаяся в пределах 50-100 мг/дм³ определяет величину затрат электрической энергии W, (кВт год./м³), которая определяется удельными затратами электрического заряда (Кл/дм³) рис. 6.

Зависимости степени очистки (С%, %) сточных вод с повышенным содержанием Cr³⁺ от удельных затрат электрической энергии W, (кВт год. /м³) и времени обработки стоков представлено на рис. 7 [14,15].

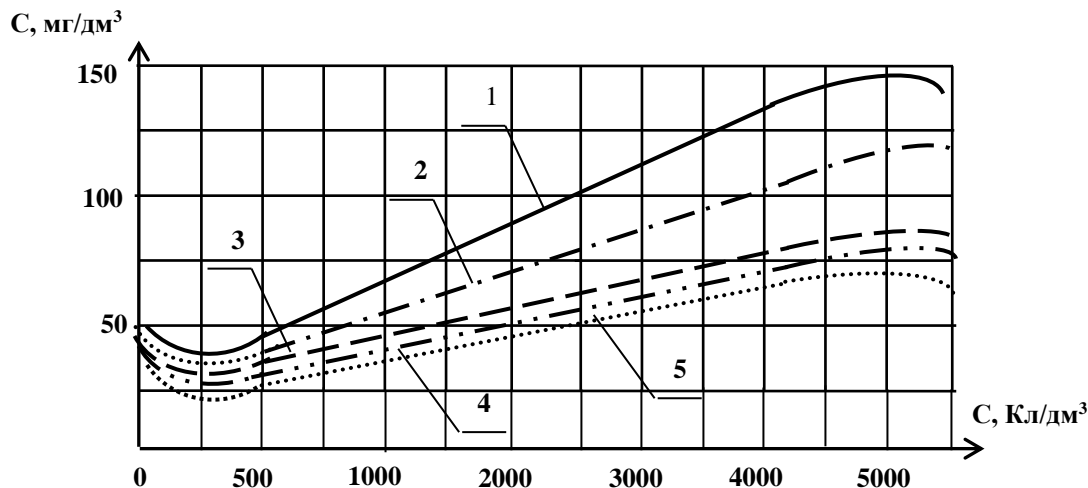


Рис. 4. Зависимости удельных затрат электрического заряда от концентрации химических компонентов и дозы отработанного моющего раствора. При обработке сточных вод, содержащих следующие компоненты: 1 – Cr⁶⁺; 2 – Cr³⁺; 3 – Fe³⁺; 4 – взвешенные вещества; 5 – поверхностно активные вещества

Fig. 4. Dependence of specific cost of the electric charge on the concentration the chemical components on the dose waste cleaning solution. In the treatment of wastewater containing the following components: 1 – Cr⁶⁺; 2 – Cr³⁺; 3 – Fe³⁺; 4 - suspended solids; 5 - Surfactants

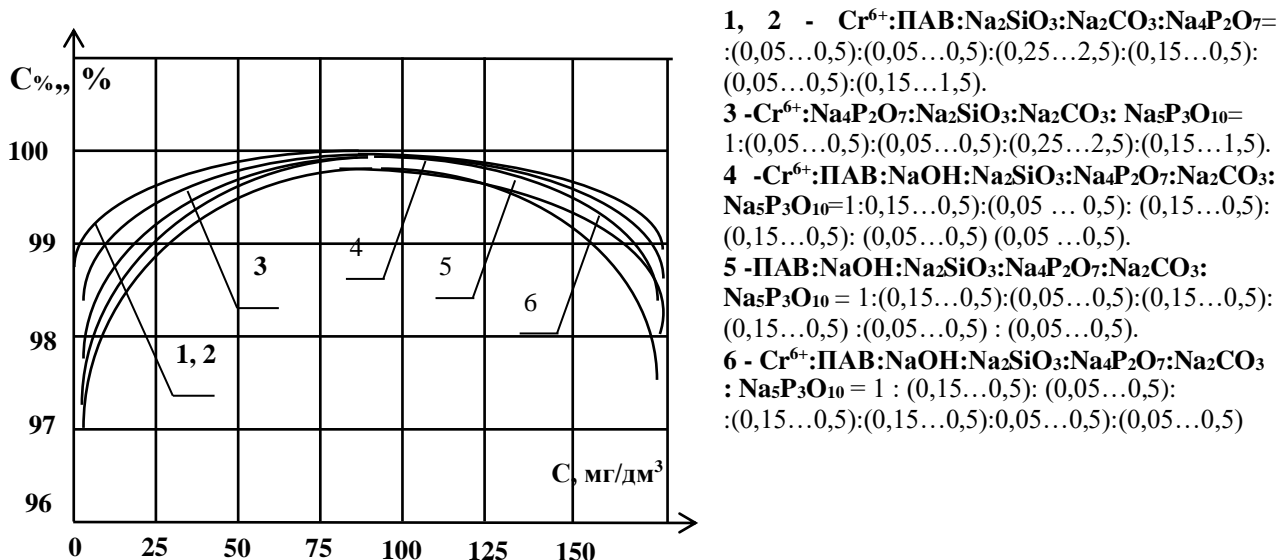


Рис. 5 Эффективность обработки сточных вод в соответствии с оптимальной величиной концентрации химических компонентов, отработанного моющего раствора (50-100 мг/дм³) при использовании предложенных технических решений: 1 и 2, 3, 4, 5 та 6

Fig. 5. The effectiveness of treating wastewater in accordance with the optimum value of concentration of chemical components waste cleaning solution (50-100 mg / dm³) using the proposed technical solutions: 1 and 2, 3, 4, 5 and 6

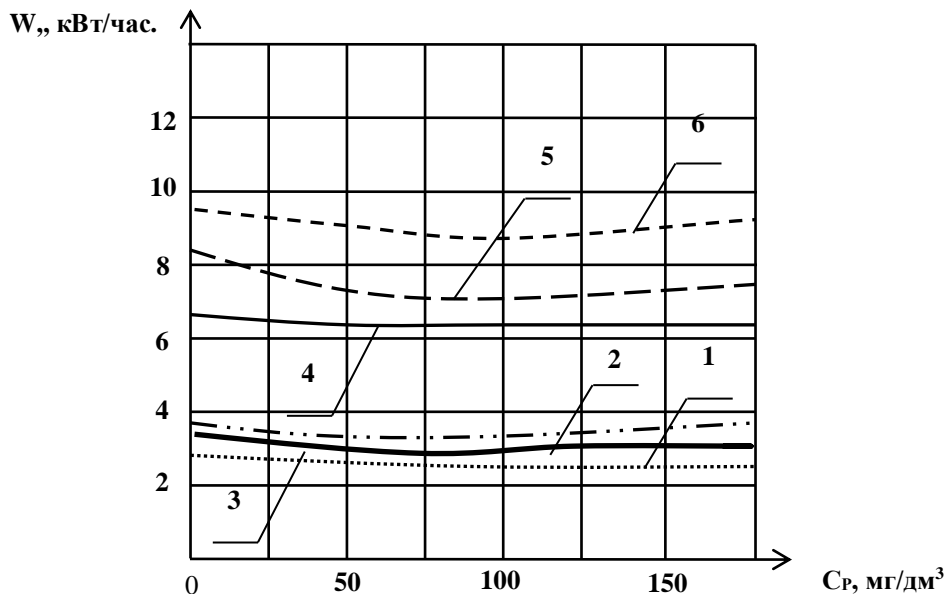


Рис. 6 Зависимости удельных затрат электрической энергии W , (кВт ч)/м³ от дозы отработанного моющего раствора (мг/дм³) и удельными затратами электрического заряда (Кл/дм³): 1 - 500 2 - 600, 3 - 1000, 4 - 2000; 5 - 4000; 6 - 5000

Fig. 6. Dependence of specific cost of electric energy W , (kW a year.) / m³ of waste cleaning solution dose (mg / dm³) with a unit cost of electric charge (C / dm³): 1 - 500 2 - 600 3 - 1000 4 - 2000; 5 - 4000; 6 - 5000

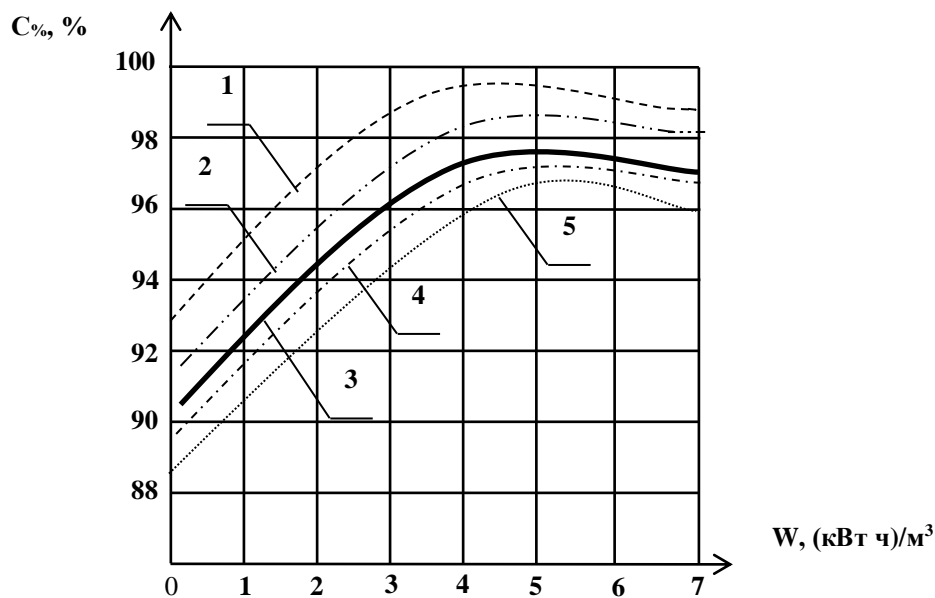


Рис. 7 Зависимости степени очистки ($C\%$, %) сточных вод с содержанием Cr^{3+} при удельных затратах электрической энергии W , ($кВт\ ч/м^3$) и времени обработки стоков: 1 – время обработки 6000 с; 2 – 1000 с; 3 – 1200 с; 4 – 1800 с

Fig. 7. Depending purity ($C\%$, %) wastewater containing Cr^{3+} in unit cost of electric power W , ($KW\ a\ year.$) / m^3 of wastewater and processing time: 1 - processing time 6000 s; 2 – 1000 s; 3 – 1200 s; 4 – 1800 s

С представленных зависимостей (рис. 7) наглядно видно, что наибольшей степени извлечения Cr (III) на уровне 99,96% достигается при удельных затратах электрической энергии 2,83 ($кВт.\ ч/м^3$) и времени обработки сточных вод 5600 с (чуть меньше 10 минут). При времени обработки стоков 4200 с степень их очистки находится на уровне 99,6%, при этом затраты электроэнергии составили 3,28 ($кВт\ ч/м^3$) [9,14,15].

Ещё одним существенным преимуществом использования разработанных способов обработки сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов, является получение незначительного объёма осадков. В сравнении с известными способами достигается уменьшение в 2,0-2,6 раза, что объясняется эффективностью про-

цесса выделения гидроксидов флотацией. Сравнительные показатели образования флотошлама представлены в табл. 2 [16].

Использование химических компонентов в нескольких технических решениях позволяет их упрощённая схема использования на очистных сооружениях и действующих системах оборотного водоснабжения. Осуществляется это за счёт разделения потоков сточных вод в ситеме водоотведения: промывные воды и кислые (щелочные) электролиты обезвреживания. Использование предлагаемых химических компонентов расширяет функциональные возможности оборудования в широком диапазоне и объёмах сточных вод, загрязнённых ионами тяжёлых металлов [4,9,18].

Таблица 2. Сравнительные показатели предложенных способов обработки сточных вод, при образовании объёмов осадков и флотошлама

Table 2. Comparable figures of proposed methods of treating wastewater, In the formation of sediments volume and formation of flotation sludge

Способ очистки и обезвреживания сточных вод	Объём осадка, $м^3$	Объём флотошлама, $м^3$	Концентрация, $мг/л$			Добавки, которые используются
			Хром VI	Хром III	Железо III	
А.с. № 1730045, А.с. № 1730046	4,0	0,5	0,01	0,5	0,8	«Лобомид - 203» ТУ - 38107-38-73
Пат. № 9877А	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»
Пат. № 45347	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»
Пат. № 64255	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»
Пат № 97943	4,0	0,5	0,01		0,8	«Лобомид - 203»

Примечание: 1. Хромсодержащие сточные воды содержат $Cr^{6+} = 50\ мг/дм^3$; $Cl^- = 180\ мг/дм^3$. 2. Значение $pH = 5,5$; 3. Количество взвешенных веществ составило $117\ мг/дм^3$. 4. Удельные затраты электрического тока $4,5\ кВт - год/м^3$. 5. В качестве добавок апробировано использование СДБ – ОСТ 13 – 183 – 83.

Кроме того, повторное использование химических компонентов ОМР существенно увеличивает экономичность процесса обработки сточных вод с содержанием тяжёлых металлов [5,10,14].

Необходимо отметить, что разработанные способы обработки сточных вод имеют некоторые ограничения, которые состоят в использовании концентрации химических компонентов ОМР менее 50 мг/дм³ и более 100 мг/дм³. Отклонения от определённого диапазона химических компонентов, проведение процесса электролиза менее 600 Кл/дм³ и 4000 Кл/дм³, что определяе-

тся конкретными условиями использования каждого технического решения.

В таблицах 3 и 4 наведена эффективность очистки сточных вод гальванического производства с использованием поверхностно-активных веществ в начале процесса обработки и времени, используемого в технологической операции [18].

Показатели образования пенного продукта, взвешенных веществ и других легких примесей в зависимости от времени его накопления и затрат электрической энергии представлены в табл. 5 [5,18].

Таблица 3. Эффективность очистки сточных вод от времени проведения процесса очистки

Table 3. The effectiveness of wastewater treatment from the time of the cleaning process

№ п / п	Реагент	Время перед предыдущим введением реагента, мин.	Час введения (работы) реагента, мин.	Эффективность очистки сточных вод, %		
				Ионы тяжёлых металлов	Взвешенные вещества	Масла и нефтепродукты
1.	ПАР	-	3	97,0	97,0	96,
2.	Na OH	1 - 2	4	96	95	97
3.	Na ₂ CO ₃	1 - 2	5	97,0	97,0	96,5
4.	Na ₄ P ₂ O ₇	2 - 3	5	97,5	99,0	97,0
5.	Na ₅ P ₃ O ₁₀	3 - 4	5	98,5	97,0	97,0
6.	Na ₂ Si O ₃	4 - 5	5	98,0	98,0	96,5

Таблица 4. Эффективность очистки сточных вод гальванического производства с использованием поверхностно-активных веществ в начале обработки

Table 4. Efficacy of wastewater treatment electroplating using surfactants in the beginning of a treatment

№ п / п	Реагент		Эффективность очистки, %				
	основной	дополнительный	Cr ⁶⁺	Cr ³⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	Cu ²⁺
1.	ПАР	Na OH	98,0	97,0	96,	96,0	96,0
2.	ПАР	Na ₂ CO ₃	95,0	97,0	96,5	97,0	97,0
3.	ПАР	Na ₄ P ₂ O ₇	98,5	99,0	97,0	98,0	98,0
4.	ПАР	Na ₅ P ₃ O ₁₀	96,5	97,0	97,0	97,0	97,0
5.	ПАР	Na ₂ Si O ₃	96,0	98,0	96,5	98,0	98,0

Таблица 5. Показатели образования пенного продукта в зависимости от используемых реагентов

Table 5. Indicators of forming foam product depending on the reagents used

№ п / п	Реагент		Объём пенного продукта, %	Час выделения пенного продукта, мин.	Затрати электрического тока, кВт
	основной	дополнительный			
1.	ПАВ	Na OH	20	1,3	4,5
2.	ПАВ	Na ₂ CO ₃	25	1,5	5,1
3.	ПАВ	Na ₄ P ₂ O ₇	20	1,5	6,0
4.	ПАВ	Na ₅ P ₃ O ₁₀	30	1,0	5,75
5.	ПАВ	Na ₂ Si O ₃	35	1,1	5,55

Примечание: 1. Объём пенного продукта в % определяется к общему объёму воды, который содержится в резервуаре. 2. Время выделения пенного продукта после его уплотнения в основном объёме верхней части накопительной ёмкости определяли 320 – 360 с [16].

Введение синтетических моющих растворов на основе ПАВ возможно регулированием активными добавками неорганических электролитов различной молекулярной влажности, а также повышение уровня адсорбционной возможности, образуя тонкие адсорбционные слои, которые резко изменяют условия взаимодействия на загрязнении.

Кроме того, ПАВ существенно снижают поверхностное натяжение на границе раздела: водный раствор – воздух, эффективно влияют на очистку от загрязнений, образуя тонкую плёнку минеральных загрязнений, с использованием компонентов на их основе, созданием условий для их эффективного обезвреживания или переводом в менее безопасную форму.

В табл. 6 представлены результаты исследований соотношения химических компонентов, входящих в состав ОМР к шестивалентному хрому в зависимости от значений электрического

заряда [18].

Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов по основным загрязнениям хром шести- и трёхвалентный, железо трёхвалентное и других ионов тяжёлых металлов представлено в табл. 7 [4,5].

С целью оптимизации состава химических компонентов, поиска эффективных режимов работы систем очистки был использован математический аппарат. С помощью множественной регрессии решена задача интенсификации очистки сточных вод промышленных предприятий. Выбранные режимы работы реагентной обработки сточных вод, количественный и качественный состав химических компонентов позволил выработать направление практической реализации и дальнейших исследований [19].

Таблица 6. Показатели соотношения химических компонентов в зависимости от затрат электрического заряда

Table 6. The ratios of the chemical components depending on cost of electric charge

Электрический заряд, Кл / дм ³	Соотношение химических компонентов ОМР к шестивалентному хрому					
	ПАВ	Na OH	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ Si O ₃	Na ₂ CO ₃	Na ₃ P ₅ O ₁₀
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25	0,15
100	0,05	0,05	0,05	0,10	0,25	0,15
	0,05	0,05	0,05	0,10	0,25	0,15
300	0,25	0,25	0,25	0,25	1,20	0,25
	0,25	0,25	0,25	0,25	1,20	0,25
600	0,50	0,50	0,50	0,30	2,50	0,50
	0,50	0,50	0,50	0,30	2,50	0,50
700	0,60	0,80	0,80	0,50	3,20	1,80
	0,60	0,80	0,80	0,50	3,20	1,80

Примечание: 1. Начальная концентрация шестивалентного хрома составила 25 мг/дм³ [4,5].

2. Содержание химических компонентов и их количественного состава каждого вещества увеличивалось.

Таблица 7. Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов

Table 7. The effectiveness wastewater treatment from ions of heavy metals

Электрический заряд, Кл / дм ³	Эффективность очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов, %					
	Хром (VI)	Хром (III)	Железо (III)	Медь (II)	Алюминий (III)	Цинк (II)
50	18	12,00	30,0	28	34	56,5
	48	62,00	60,0	45	65	58,0
100	98,5	96,0	94,0	78	78	60,0
	99,25	98,10	96,0	87	80	59,0
300	96,00	97,00	96,00	90	90	64,0
	99,50	99,20	98,00	95	89	67,0
600	96,50	97,00	96,50	97	95	69,0
	99,50	99,30	98,50	96	93	69,0
700	96,30	92,40	90,00	97	95	70,0
	99,80	96,20	91,30	97	97	70,0
П	Р	О	Т	Т	И	П
300	98	51				68

Таким образом, определённые соотношения химических компонентов, наиболее эффективные режимы и параметры обработки сточных вод с использованием реагентов, позволяют обеспечить эффективную обработку сточных вод. Кроме того, повторное использование очищенной воды в оборотных системах водоснабжения позволяет уменьшить габаритные размеры оборудования, сокращает площади, на которых они располагаются и затраты электрической энергии.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования, цель которых состояла в определении оптимальных параметров и режимов работы систем очистки позволили сделать следующие выводы:

1. Выбранные химические компоненты, входящие в состав отработанного моющего раствора, позволяют повысить уровень интенсификации работы систем оборотного водоснабжения, за счёт рационального ведения водного хозяйства отдельных систем обработки сточных вод.

2. Предложенные технические решения позволяют стабилизировать обработку сточных вод в широком диапазоне загрязнений с высокими начальными концентрациями.

ЛИТЕРАТУРА

- А. с. № 1634642 СССР, МКИ., 1991. Способ очистки сточных вод от шестивалентного хрома / Р. Вергунова, А. Захоржевская, В. Гурин, А. Шостенко, В. Генкин, М. Стельмах, Е. Калиновский. – Бюл. № 15.
- А. с. № 1527183 СССР, МКИ., 1989. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Р. Вергунова, Н.Коробчанская, Е. Короткова. – Бюл. № 37.
- А. с. № 975586 СССР, МКИ С 02 F 1 / 48. Способ очистки водных растворов от сульфата натрия / А. Заводякин, Я. Шнейерсон, П.Андреев, Г. Филлипов, В. Коновалов, В. Ивановский, И. Феенберг, О. Данилович, Р. Сивой, Л.Фрумина. - № 2562512 / 29 - 26; Заявл. 04. 01. 78; Опубли. 23. 11. 82. – Бюл. № 43.
- А. с. № 1730045 СССР, МКИ С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н. Бунин, С.Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. - Заявка № 4670283 / 26; заявл. 30. 03. 89; опубли. 30. 04. 92. – Бюл. № 16.
- А. с. № 1730046 СССР, МКИ С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н.Бунин, С.Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства - Заявка № 4670283 / 26; заявл. 30. 03. 89; опубли. 30. 04. 92. – Бюл. № 16.
- Вейцер Ю., Д.Минц. Д., 1984. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. – М.: Стройиздат. – 200.
- Гвоздев В., Ксенофонтов Б., 1988. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков.- М.: Химия. – 112.
- Запольский А., Образцов В., 1989. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. – К.: Техника. – 199.
- Пат. № 9877А Україна, МПК⁷ С02F1/46. Спосіб обробки стічних вод гальванічного виробництва промислових підприємств / С. Мовчан.- – Заявка № у 2005 03515; заявл. 14. 04. 2005, опубл. 17. 10. 2005.– Бюл. № 10.
- Мовчан С., 2012. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва комплексом хімічних компонентів. Наукові розробки ТДАТУ. – Мелітополь. – 30.
- Мовчан С., 2013. Интенсификация работы оборотных систем водоснабжения MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Vol. 15, No. 6, 157 – 164.
- Мовчан С., Морозов М., 2013. Електрохімічні способи очищення стічних вод гальванічного виробництва. Всеукр. наук. - практичн. конференц., присвячена 90 – річчю заснування МДПУ ім. Б. Хмельницького. 13 – 14 листопада 2013 р., м. Мелітополь, Україна. –94 – 95.
- Мовчан С., 2014. Обработка параметров частиц водных растворов при интенсификации работы оборотных систем водоснабжения / С.И. Мовчан. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. –Vol. 16, No. 6. 141-150.
- Пат. № 45347 Україна, МПК⁷ С 02 F 1 / 46. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва / С. Мовчан. – Заявка № у 2009 04539, заявл. 07. 05. 2009; опубл. 10. 11. 2009.– Бюл. № 21.
- Патент на корисну модель № 64255 Україна, МПК⁷ С 02 F1/46. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва комплексом хімічних компонентів / С. Мовчан, М. Морозов. – Заявка № у 2010 132249, заявл. 08. 11. 2010; опубл. 10. 11. 2011.– Бюл. № 21.
- Патент на корисну модель № 97879 Україна, МПК⁷ (2014.11.09) С02 F 11/00. Спосіб утилізації осадів гальванічних відділень/ С. Мовчан. – Заявка № у 2014 11021; заявл. 09. 10. 2014, опубл. 10. 04. 2015. – Бюл. № 7.
- Патент на корисну модель № 97943 Україна, МПК⁷ (2014.11.09) С02 F 11/00. Спосіб очищення стічних вод, які утворюються у гальванічних відділеннях / С. Мовчан. – Заявка № у 2014 11865; заявл. 09. 10.

- 2014, опубл. 10. 04. 2015.– Бюл. № 7.
18. Полож. реш-04.07.2014 р. Патент на корисну модель № 141563У/14 Україна, МПК⁷ (2014.01) С 02 F1/46. Спосіб каскадного очищення стічних вод / С. Мовчан. – Заявка № u 2014 03882; заявл. 14. 04. 2014.
19. Сизова Н., Епоян С., Мовчан С., 2014. Использование моделирования в процессе очистки сточных вод для интенсификации работы оборотных систем водоснабжения. Науковий вісник будівництва. – Харків ХНУБА ХОТВ АБУ. – Вип. 2 (76). - 132 - 136.
20. Епоян С., 2014. Оптимізація реагентів при обробці стічних вод гальванічних відділень промислових підприємств/ С.М. Епоян, С.І. Мовчан. Тези за матеріалами VI Всеукраїнського наукового семінару «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур». Присвячено 100-річчю створення Харківської каналізації (м. Харків, ХНУБА, 15 ... 16 жовтня 2014 р.). Харків. – 90-92.
21. Эпоян С., 1997. Интенсификация процессов очистки городских сточных вод и обработки осадков; дис. доктора техн. наук: 05.23.04 / Эпоян Степан Михайлович. – Харьков. – 319.

OPTIMIZATION OF CHEMICAL COMPONENTS AT REAGENT TREATING OF WASTEWATER

Summary. On the basis of experimental studies of optimization of the chemical components included in the waste cleaning solution, determine the optimum treatment of wastewater, ways to reduce energy costs and stabilize the efficiency of treating wastewater

Key words: wastewater, reagent treatment, chemical components, circulating water system, the optimal dose, the waste cleaning solution.

НАДЕЖНОСТЬ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Александр Матяш, Валерий Новохатний, Сергей Костенко

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка
 Адрес: Украина, 36011, г Полтава, Первомайский проспект, 24
 E-mail: kanc@pntu.edu.ua

Аннотация. В статье изложен метод, методика и алгоритм расчета надежности систем водоснабжения с разветвленной водопроводной сетью и его практическая реализация на примере небольшого населенного пункта. На основании разработанного метода расчета надежности представлен алгоритм и компьютерная реализация для ускорения вычислений и принятия эффективных инженерных решений для повышения надежности систем водоснабжения.

Ключевые слова: системы водоснабжения, надежность, безотказность, ремонтпригодность.

ВВЕДЕНИЕ

Системы водоснабжения небольших населённых пунктов строятся, обычно, по двум схемам. Первая схема – централизованная система водоснабжения, когда устраивают один водозабор, одни очистные сооружения (в случае необходимости очистки воды), насосная станция и водопроводная сеть. Вторая схема – локальные системы водоснабжения (в случае небольшой протяженности населенного пункта и наличия подземного источника воды питьевого качества).

В состав локальной системы водоснабжения входят, как правило, водозаборная скважина, разветвленная водопроводная сеть и водонапорная башня. Сооружения такой системы оказываются соединенными последовательно с точки зрения надежности. Будем рассматривать надежность водоснабжения конечных потребителей воды по направлениям подачи воды к ним. Тогда отсутствие воды у потребителей возможно из-за отказа водозаборной скважины или отказа отдельного участка водопроводной сети. «Правила предоставления услуг населению по централизованному отоплению, снабжению холодной и горячей водой и водоотведению» (постановление Кабинета Министров Украины №630 от 2005 г. [1]), требуют, чтобы «...допустимый срок отклонения показателей по бесперебойному водоснабжению составлял не более 6 часов в сутки и не более 2-х раз в месяц». ДБН В.2.5-74:2013 [2] говорит, что: «...централизованные системы водоснабжения по надежности действия или по степени обеспеченности подачи воды подразделяют на три категории» (см.табл.1)

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Основателями направления надежности систем водоснабжения в бывшем Советском Союзе, по праву, следует назвать Н.Н. Абрамова (московская школа) [3–7] и Ю.А. Ильина (ленинградская школа) [8, 9]. Из известных зарубежных данных следует отметить работы польских ученых, которые отличаются оригинальными подходами [10–17]. В России эти исследования продолжает С.В. Храменков

(“Мосводоканал”) [18], О.Г. Примин (Мосводоканал НИИпроект) [19], М.И. Алексеев, Ю.А. Ермолин [20]. В Украине разрабатывают вопросы надежности д-ра наук П.Д. Хоружый [21], А.А. Ткачук [22], А.Я.Найманов [23]. Полтавскую школу в этом направлении возглавляет д-р техн. наук В.Г. Новохатний [24 – 26]. В Украине исследования по надежности систем водоснабжения еще не достигли такого уровня, чтобы расчеты надежности вошли составной частью в технологические расчеты и были введены в нормативную документацию. С одной стороны это указывает на сложности решения этих вопросов, а с другой стороны уже есть наработки, которые позволяют вести расчеты надежности систем водоснабжения. Это относится к достаточно простым по своему строению системам водоснабжения.

Таблица 1. Категории централизованных систем водоснабжения по надежности действия или по степени обеспеченности подачи воды

Table 1. Categories of the centralized water systems on reliability of action or after the degree of ensuring of serve of water

Категория централизованных систем водоснабжения	Условия функционирования		
	Снижение подачи воды		Перерыв в подаче воды
	%	время	
1	≤30	≤ 3 суток	Допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы ≤10 мин
2	≤30	≤ 10 суток	Допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы и проведения ремонта ≤6 час
3	≤30	≤ 15 суток	Допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы и проведения ремонта ≤24 час

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данной работы является изложение метода и алгоритма расчета надежности локальных систем водоснабжения, которые включают водопроводные сети разветвленного типа.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

При расчетах надежности систем водоснабжения необходимо обязательно решить следующие принципиальные моменты.

1. Надежность, по определению [27] – это комплексное свойство объекта, которое включает 4 составляющих: безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость. Поэтому, до начала расчетов надежности необходимо выбрать те свойства, которые будут определяться.

2. Существует значительное количество показателей надежности для каждого из 4-х перечисленных свойств. Из всего круга показателей надежности необходимо выбрать основные и именно для них разрабатывать методику расчета.

3. Математическая модель и метод расчета должны адекватно описывать процесс функционирования сооружений, но методики должны быть достаточно простыми для внедрения в практику проектирования.

4. Следует особое внимание обратить на точность исходных статистических данных, так как это существенно влияет на результаты расчетов надежности как сооружений, так и системы водоснабжения в целом.

Рассмотрим сформулированные позиции.

Составляющие надежности

Исследование вопросов долговечности сооружений систем водоснабжения требуют разработки отдельных методов. Вопросы сохраняемости не являются определяющими для систем водоснабжения. Определяющими в вопросах водоснабжения являются две составляющие надежности водоснабжения, а именно – бесперебойность (непрерывность) водоснабжения и возобновляемость водоснабжения. Эти две составляющие надежности водоснабжения определяются безотказностью и ремонтпригодностью сооружений и отдельных элементов этих сооружений. В данной статье изложены вопросы безотказности и ремонтпригодности систем водоснабжения малых населенных пунктов.

Выбор основных показателей надежности

В соответствие с ДБН В.2.5-74:2013 [2] централизованные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения в поселках могут иметь разветвленную сеть неограниченной протяженности, если эта система не используется для пожаротушения и диаметры труб не превышают 100 мм. Требования ДБН В.2.5-74:2013 [2] по надежности водоснабжения для систем водоснабжения III-й категории ограничивают только допустимый перерыв в водоснабжении

$T_B^{don} \leq 24 \text{ часа}$, но частота перерывов не регламентируется. «Правила» [1] требуют, чтобы «допустимый срок отклонения показателей по бесперебойному водоснабжению составлял не более 6 часов в сутки и не более 2-х раз в месяц». Не рассматривая другие системы водоснабжения, в которых к снабжению водой выдвигается очень жесткие требования, примем основным показателем надежности для систем водоснабжения малых населенных пунктов коэффициент готовности K_T , а базовыми показателями надежности среднюю наработку на отказ T и среднее время восстановления T_B .

Метод расчета надежности системы водоснабжения с водопроводной сетью разветвленного типа

Надежность водоснабжения как технологического процесса непосредственно зависит от надежности водопроводных сооружений на пути от источника к диктующему потребителю. Диктующие потребители расположены в конечных, по ходу движения воды, узлах разветвленной водопроводной сети. Математической моделью расчетов надежности от источника к диктующему потребителю по выбранному направлению принято последовательное соединение восстанавливаемых элементов. Общий поток отказов (перерывов в водоснабжении) образуют подающие сооружения (насосные станции или погружные насосы скважин) и участки водопроводной сети. Назовем эти сооружения подающее-распределительным комплексом (ПРК) системы водоснабжения. Расчет надежности ПРК будем вести по формулам в следующем порядке.

Параметр потока отказов ПРК по выбранному направлению:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (1)$$

где: ω_i – параметр потока отказов i -го элемента.

Средняя наработка на отказ ПРК по выбранному направлению:

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \omega_i}. \quad (2)$$

Среднее время восстановления работоспособности ПРК по выбранному направлению:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_i} \omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \quad (3)$$

где: T_{B_i} – средняя длительность восстановления работоспособности i -го элемента.

Параметр потока отказов i -го участка сети:

$$\omega_{y_i} = \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} \cdot L_i, \quad (4)$$

где: L_i – длина участка трубопровода i -го диаметра, км,

ω_{0_i} – удельный параметр потока отказов трубопровода i -го диаметра и материала труб.

Параметр потока отказов сети по выбранному направлению:

$$\omega_c = \sum_{i=1}^n \omega_{y_i}, \quad (5)$$

где: n – кількість ділянок мережі за вибраним напрямком.

Средняя продолжительность восстановления работоспособности сети по выбранному направлению:

$$T_{B_c} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_{y_i}} \omega_{y_i}}{\sum_{i=1}^n \omega_{y_i}}, \quad (6)$$

где: $T_{B_{y_i}}$ – средняя длительность восстановления работоспособности i -го участка сети по выбранному направлению.

Параметр потока отказов НС и сети по выбранному направлению:

$$\omega = \omega_{nc} + \sum_{i=1}^n \omega_{o_i} \cdot L_i, \quad (7)$$

где: ω_{nc} – параметр потока отказов насосной станции.

Средняя наработка на отказ НС и сети по выбранному направлению:

$$T = \frac{1}{\omega_{nc} + \sum_{i=1}^n \omega_{o_i} \cdot L_i}. \quad (8)$$

Среднее время восстановления работоспособности НС и сети по выбранному направлению:

$$T_B = \frac{T_{B_{nc}} \omega_{nc} + T_{B_c} \omega_c}{\omega_{nc} + \omega_c}, \quad (9)$$

где: $T_{B_{nc}}$ – средняя продолжительность восстановления работоспособности насосной станции,

T_{B_c} – средняя продолжительность восстановления сети по выбранному направлению.

Коэффициент готовности НС и сети по выбранному направлению:

$$K_T = \frac{T}{T + T_B}. \quad (10)$$

Методика расчета надежности систем водоснабжения с водопроводной сетью разветвленного типа

Предлагается проектирование или реконструкцию системы водоснабжения сельского населенного пункта вести в такой последовательности:

1. Выбор типа системы водоснабжения (хозяйственно-питьевая или объединенная хозяйственно-питьевая и противопожарная); предполагается, что система не выполняет противопожарных функций, поэтому участки сети могут быть значительной длины, но диаметр не более 100 мм.

2. Определение расчетных расходов воды на основе принятых норм водопотребления.

3. Выбор схемы водоснабжения для выбранного типа системы (поверхностные или подземные источники водоснабжения).

4. Предварительный выбор места расположения водозаборных сооружений и трассировки водопроводной сети.

5. Предварительный гидравлический расчет водопроводной сети с определением удельных, путевых и узловых расходов воды, а также диаметров труб участков сети.

6. Определение оптимального места расположения водозаборных сооружений с определением узла равнонадежности.

7. Гидравлический расчет принятой схемы водопроводной сети при расположении скважины в узле равнонадежности.

8. Расчет надежности водозаборной скважины.

9. Расчет безотказности водоснабжения диктующим потребителям.

10. Расчет времени восстановления водоснабжения диктующим потребителям.

11. Анализ расчетов надежности.

Выбор оптимального места расположения водозаборной скважины

Одним из основных вопросов на этапе проектирования систем водоснабжения является выбор места расположения водозаборной скважины. На решение этой задачи влияют следующие факторы: места расположения источников водоснабжения, геодезические данные территории населенного места, назначение системы водоснабжения, экономические факторы и др. С учетом надежности, основными факторами, которые влияют на выбор места расположения водозаборной скважины, является назначение системы водоснабжения, тип и протяженность водопроводных сетей. Если проектируется или реконструируется система водоснабжения небольшого населенного пункта, то такая система водоснабжения не выполняет, обычно, противопожарных функций и имеет водопроводную сеть разветвленного типа. В таком случае базовыми показателями надежности принимаем среднюю наработку на отказ T и среднее время восстановления T_B , а основным показателем – коэффициент готовности K_T системы водоснабжения по выбранному направлению подачи воды. При этом направления подачи воды определяются от водозаборной скважины до диктующих потребителей. Понятно, что место расположения водозаборной скважины относительно диктующих потребителей влияет на надежность подачи воды к ним. Вызвано это тем, что на безотказность подающего трубопровода влияет два основных фактора: диаметр и длина трубопровода (при выбранном материале труб). Чем больше длина подающего трубопровода, при принятых диаметрах и материале труб, тем меньше наработка на отказ T . Оптимальным, из условий надежности, является такое расположение скважины в системе водоснабжения с сетью разветвленного типа, когда наработ-

ки на отказ T от скважины до всех диктующих потребителей максимально возможные, а параметры потока отказов ω к диктующим потребителям минимально возможные. Критерием оптимизации следует принять параметр потока отказов системы водоснабжения по направлению подачи воды от скважины до диктующего потребителя $\omega = 1/T$.

Определение центра равнонадёжности

Место расположения водозаборной скважины, когда надёжность подачи воды ко всем потребителям будет максимально возможной, назовем центром равнонадёжности. В терминах теории надёжности это означает, что наработка на отказ до диктующих потребителей должна быть максимально возможной. Расчеты удобнее выполнять через параметры потока отказов по направлениям $\omega = 1/T$.

Зачастую будет возникать ситуация, когда центр равнонадёжности находится на участке водопроводной сети между двумя узлами. Если в этой точке нет возможности образовать узел с расположением в нем водозаборной скважины, то центр равнонадёжности нужно сместить в ближайший узел водопроводной сети. В этом случае необходимо выполнить новые расчеты надёжности подачи воды диктующим потребителям.

При расположении водозаборной скважины в центре равнонадёжности, разветвленная водопроводная сеть превращается в некую условную “звезду”. В центре этой “звезды” находится водозаборная скважина, а на концах “лучей” (участков сети) расположены диктующие потребители. Вода при этом подается одновременно параллельно по всем направлениям к диктующим потребителям и безотказность ее подачи будет в таком случае максимально возможной.

Математическое обоснование поиска центра равнонадёжности

Выполним математическую постановку этой технической задачи. Представим водопроводную сеть разветвленного типа неориентированным взвешенным графом G без циклов и петель. В концевых вершинах графа расположены диктующие потребители воды – это такие потребители, надёжность водоснабжения которых является наименьшей. Ребра графа имеют вес, а именно длину l_i – расстояние между концевыми вершинами i -го ребра. Последовательность ребер между концевыми вершинами образует цепь.

Утверждение. При расположении водозаборной скважины в середине наиболее длинной цепи, расстояние от водозаборной скважины до конечных вершин графа не будут превышать половины длины самой длинной цепи.

Доказательство. Определим максимальную цепь $\langle u, v \rangle$ (рис. 1). Пусть L – длина цепи $\langle u, v \rangle$. Расположим на этой цепи дополнительную вершину n так, чтобы образовалось две равных цепи $\langle u, n \rangle$ и $\langle n, v \rangle$. При этом длина каждой из них равна $L/2$. Докажем, что на графе G не существует незамкну-

той цепи с началом в вершине n такой, чтобы её длина превышала длину $\langle u, n \rangle$ или $\langle n, v \rangle$.



Рис. 1. Водопроводная сеть в виде неориентированного взвешенного графа G

Fig. 1. Water network is as the non-orientable self-weighted count G

Пусть существует цепь L^* , длина которой больше чем $L/2$. Тогда $L^* + L/2 > L$, чего не может быть, ибо это противоречит условию утверждения, ведь L – длина максимальной незамкнутой цепи на графе G . Таким образом, утверждение доказано.

Для алгоритмического решения задачи использован алгоритм с переходом на параметр потока отказов. Сначала вычислены параметры потока отказов от первой вершины ко всем остальным, затем второй – ко всем остальным и т.д. В ходе последующих итераций найдены значения параметров потока отказов между всеми конечными вершинами. Получен двумерный массив, который содержит данные по параметрам отказов между всеми вершинами. Изначально все вершины графа обозначаем маркером расстояния от первой вершины к всем остальным. Первая вершина V_0 имеет метку 0 , другие условно обозначаем ∞ потому, что расстояние к ним неизвестно, P – список точек.

Алгоритм и блок-схема программы поиска центра равнонадёжности

Предлагается следующий алгоритм поиска центра равнонадёжности в системе водоснабжения с водопроводной сетью разветвленного типа [28].

Шаг 1. Ввод дерева сети и начальных данных.

Шаг 2. Вычисление параметра потока отказов участков ω_y .

Шаг 3. Вычисление параметра потока отказов сети ω_c между всеми диктующими потребителями.

Шаг 4. Выбор наибольшего значения ω_c и деление его пополам.

Шаг 5. Нахождение точки на сети, которая соответствует $1/2 \omega_c$ и которую считаем центром равнонадёжности.

Шаг 6. Вычисление параметра потока отказов системы водоснабжения ω от центра равнонадёжности до диктующих потребителей.

Шаг 7. Вычисление параметра потока отказов водозаборной скважины $\omega_{скв}$.

Шаг 8. Вычисление наработки на отказ T_j системы водоснабжения по выбранному направлению.

Шаг 9. Вычисление среднего времени восстановления работоспособности T_{B_i} системы водоснабжения по выбранному направлению.

Шаг 10. Определение коэффициента готовности K_r системы водоснабжения по выбранному направлению.

Шаг 11. Определения коэффициента простоя K_n системы водоснабжения по выбранному направлению.

Блок-схема расчета надежности приведена на рис. 2.

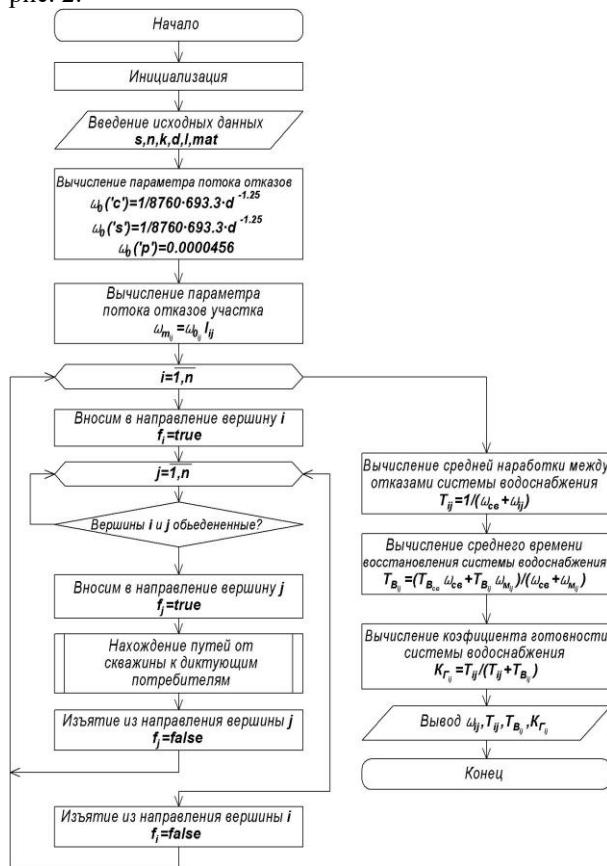


Рис. 2. Блок-схема расчета надежности
Fig. 2. A block diagram of the calculation of reliability

Для создания программного обеспечения компьютерного расчета основных показателей надежности системы водоснабжения с сетью разветвленного типа и нахождения оптимального места расположения водозаборной скважины использован язык программирования Pascal ABC. Расчет выполняется от водозаборной скважины до диктующих потребителей, то есть потребителям, которые находятся в конечных узлах сети. Алгоритм этого расчета и разработанная блок-схема применена при разработке компьютерной программы расчета [28]. Для работы с программой нужно иметь только дерево сети и конструктивные характеристики труб участков: длину, диаметр и материал труб. Расчет осно-

вных показателей надежности с помощью разработанной программы можно выполнить для стальных, чугунных (серый чугун) или полиэтиленовых труб.

Пример расчета надежности системы водоснабжения поселка городского типа

Водоснабжение осуществляется из подземного источника путем устройства водозаборной скважины. Водопроводная сеть поселка разветвленного типа и не выполняет противопожарных функций. Сети этого типа – это сети без циклов, которые можно показывать в виде деревьев с корнем в вершине, где расположена водозаборная скважина. Поэтому между любыми двумя вершинами существует путь и, к тому же, только один. Элементами системы водоснабжения будут оборудование системы и участка сети различного диаметра.

Для расчетов надежности используем следующие зависимости.

Параметр потока отказов i -го участка сети:

$$\omega_{y_i} = \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} L_i, \tag{11}$$

где: L_i – длина участка трубопровода i -го диаметра, км,

ω_{0_i} – удельный параметр потока отказов трубопровода i -го диаметра, 1/час·км.

Среднее время восстановления водопроводной сети по выбранному направлению:

$$T_{B_c} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_{y_i}} \omega_{y_i}}{\sum_{i=1}^n \omega_{y_i}}, \tag{15}$$

где: $T_{B_{y_i}}$ – среднее время восстановления i -го участка сети.

Параметр потока отказов системы водоснабжения по выбранному направлению:

$$\omega = \omega_{ске} + \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} \cdot L_i. \tag{16}$$

Средняя наработка на отказ системы по выбранному направлению:

$$T = \frac{1}{\omega_{ске} + \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} \cdot L_i}. \tag{17}$$

Среднее время восстановления системы по выбранному направлению:

$$T_B = \frac{T_{B_{ске}} \omega_{ске} + T_{B_c} \omega_c}{\omega_{ске} + \omega_c}, \tag{18}$$

где: $T_{B_{ске}}$ – среднее время восстановления водозаборной скважины,

T_{B_c} – среднее время восстановления водопроводной сети по направлению.

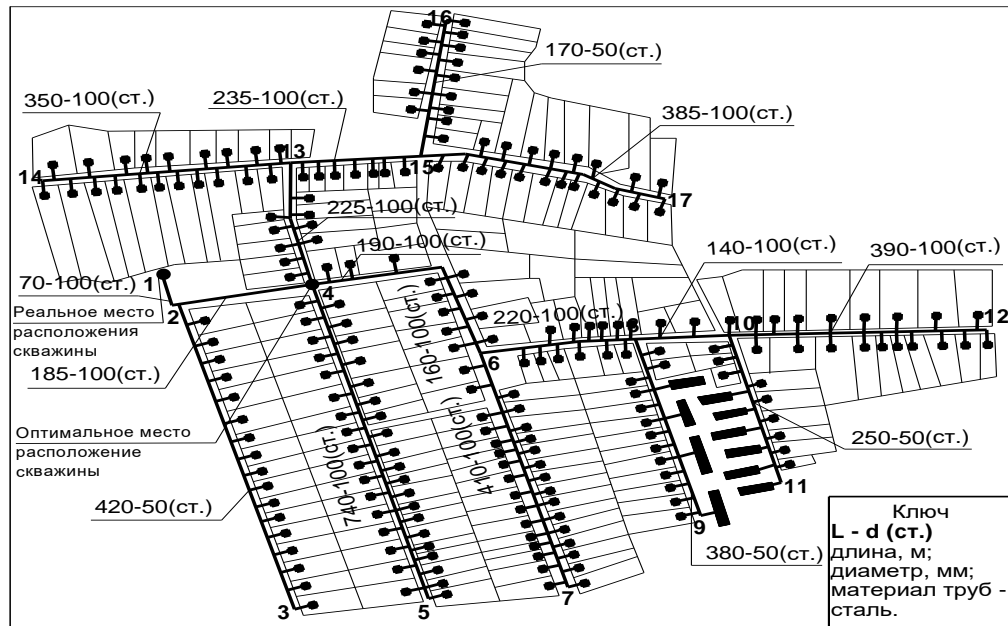


Рис. 3. План локальной системы водоснабжения поселка городского типа
Fig. 3. Plan of the local system of water-supply of settlement of municipal type

Коэффициент готовности системы водоснабжения по выбранному направлению:

$$K_r = \frac{T}{T + T_B} \quad (19)$$

Коэффициент простоя системы водоснабжения по выбранному направлению:

$$K_{pi} = 1 - K_r \quad (20)$$

Подготовка исходных данных для поиска центра равнонадёжности на ПЭВМ

Параметр потока отказов скважины (рис. 4) вычислено по формуле:

$$\omega_{ске} = \omega_\phi + \omega_{от} + \omega_{на} + \omega_{вт} + \omega_{бу} + \omega_z + \omega_{з.к} ,$$

где: ω_ϕ , $\omega_{от}$, $\omega_{на}$, $\omega_{вт}$, $\omega_{бу}$, ω_z , $\omega_{з.к}$, – параметр потока отказов фильтра, обсадной трубы, насосного агрегата, водоподъемной трубы, блока управления, задвижки, обратного клапана [8]:

$$\omega_{ске} = 0,00003 + 0,000015 + 0,000125 + 0,000031 + 0,000095 + 0,00006 + 0,000008 = 0,0003641 / \text{час} .$$

Для нахождения среднего значения удельного параметра потока отказов ω_0^{mid} использованы аналитические зависимости [26]:

- стальные трубы $\omega_0^{mid} = 117,3 \cdot D^{-0.81}$,

- чугунные трубы $\omega_0^{mid} = 693,3 \cdot D^{-1.25}$,

- полиэтиленовые трубы $\omega_0^{mid} = 0,4$ 1/год·км.

Исходные данные для расчета системы водоснабжения разветвленного типа заносятся в файл Блокнота с расширением txt (рис.5). В файл “Связи” заносятся данные относительно дерева сети, а именно количество узлов, местоположение водозаборной скважины и связи между узлами. Вектор в данном случае указывает направление подачи воды от соответствующего узла сети (графа “ном. узла”) к следующему (графа “Вектор”).

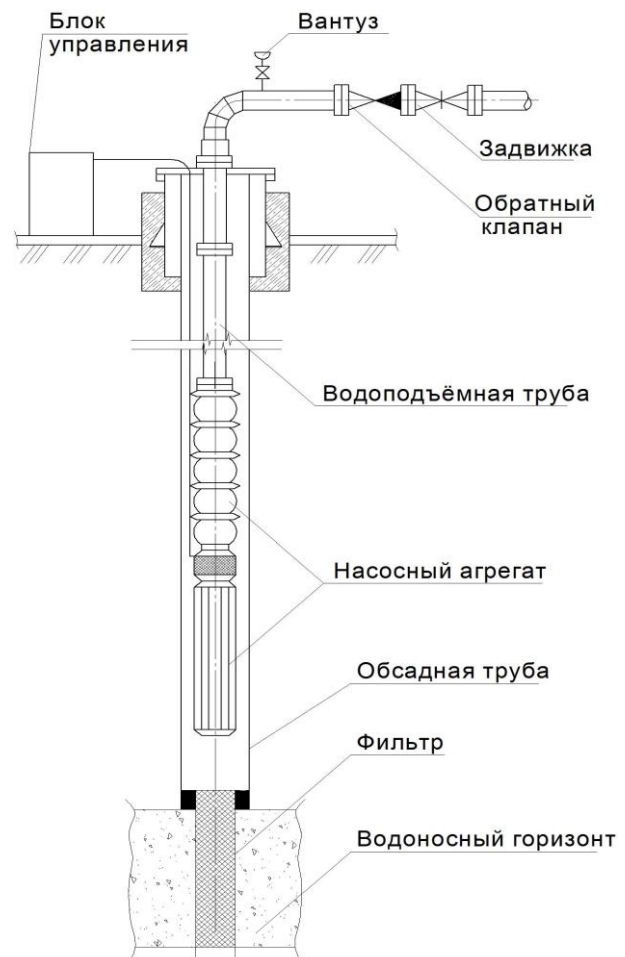


Рис. 4. Схема оборудования водозаборной скважины
Fig. 4. Driving equipment water well

В файл “Характеристики” записываются конструктивные характеристики каждого участка: диаметр (мм), длина (км) и материал. Обозначение

соответствующего материала указаны в шапке исходного файла “Характеристики”.

1 файл - Блокнот		2 файл - Блокнот				
Файл	Правка	Формат	Вид	Справка		
Файл №1		Файл №2				
Кількість вузлів	17	Ном. вузла	Век-тор	Діа-метр (мм)	Дов-жина (м)	Мат.
Місце вододжерела	1					
Ном. вузла	Век-тор					
1	2	1	2	50	0.07	с
2	3	2	4	50	0.185	с
2	4	4	13	100	0.225	с
4	5	13	14	100	0.35	с
4	13	13	15	100	0.235	с
4	6	15	17	100	0.385	с
6	7	15	16	50	0.17	с
6	8	4	6	100	0.37	с
8	9	6	8	100	0.22	с
8	10	8	10	100	0.14	с
10	11	10	12	100	0.39	с
10	12	10	11	50	0.25	с
13	14	8	9	50	0.38	с
13	15	6	7	50	0.41	с
15	16	4	5	100	0.74	с
15	17	2	3	50	0.42	с

Рис. 5. Пример заполнения файлов начальных данных.

Fig. 5. Example of filling of files of initial data.

По разработанной программе выполнен расчет надежности одной из локальных систем водоснабжения с сетью разветвленного типа поселка городского типа в Полтавской области (рис.3). Водозаборная скважина находится в узле №1, водопроводная сеть разветвленного типа, диаметры труб от 50 до 100 мм, материал труб – сталь. Расчет надежности системы водоснабжения поселка выполнен по направлениям подачи воды к диктующим потребителям. Расчеты выполнены с помощью созданной программы на языке программирования Pascal ABC. Расчеты занесены в текстовый файл программы “Блокнот” (рис. 6).

При существующем месте расположения скважины в узле №1 установлено, что наименее надежным направлением подачи воды является направление 1-9, для которого среднее время наработки на отказ составляет $T = 1164,6$ ч, среднее время восстановления работоспособности $T_B = 11,22$ ч. Расчет (рис. 7) позволил установить оптимальное место расположения водозаборной скважины – это узел №4. Направлением наименьшей надежности подачи воды, при размещении скважины в узле №4, является направление 4-9 (рис. 3). Для указанного направления среднее время наработки на отказ составляет $T = 1414,71$ ч, среднее время восстановления работоспособности $T_B = 11,06$ ч. Расчеты показали, что при расположении скважины в узле №4 безотказность водоснабжения по направлению наименьшей надежности увеличилась в 1,25 раза.

Напряг	Параметр потока в/дмов мм., л/год	Напряження на в/дмову Т, год	Тривалість відновлення Тв, год	Коефіцієнт готовності кг	Коефіцієнт простою кп
1-3	0.0006247	1600.83	10.93	0.9932	0.0068
1-5	0.0006700	1492.55	11.01	0.9927	0.0073
1-7	0.0008214	1217.36	11.19	0.9909	0.0091
1-9	0.0008587	1164.62	11.22	0.9905	0.0095
1-11	0.0008163	1225.03	11.18	0.9910	0.0090
1-12	0.0007651	1307.02	11.13	0.9916	0.0084
1-14	0.0006287	1390.59	10.94	0.9932	0.0068
1-16	0.0007011	1426.31	11.05	0.9923	0.0077
1-17	0.0006963	1436.22	11.04	0.9924	0.0076
Напрямок подавання води найменшої надійності					
1-9	0.0008587	1164.62	11.22	0.9905	0.0095

Рис. 6. Расчет надежности локальной системы водоснабжения при расположении скважины в узле №1

Рис. 6. A calculation of reliability of the local water supply system when the location of the well site №1

Напряг	Параметр потока в/дмов мм., л/год	Напряження на в/дмову Т, год	Тривалість відновлення Тв, год	Коефіцієнт готовності кг	Коефіцієнт простою кп
4-1	0.0004848	2062.75	10.63	0.9949	0.0051
4-3	0.0006931	1442.73	11.04	0.9924	0.0076
4-5	0.0005182	1929.74	10.71	0.9945	0.0055
4-7	0.0006697	1493.30	11.01	0.9927	0.0073
4-9	0.0007069	1414.71	11.06	0.9922	0.0078
4-11	0.0006645	1504.86	11.00	0.9927	0.0073
4-12	0.0006133	1630.50	10.91	0.9934	0.0066
4-14	0.0004769	2096.84	10.60	0.9950	0.0050
4-16	0.0005493	1820.43	10.79	0.9941	0.0059
4-17	0.0005445	1836.61	10.78	0.9942	0.0058
Напрямок подавання води найменшої надійності					
4-9	0.0007069	1414.71	11.06	0.9922	0.0078

Рис. 7. Расчет надежности локальной системы водоснабжения при расположении скважины в узле №4.

Fig. 7. A calculation of reliability of the local system water-supply when the location of the well site №4.

ВЫВОДЫ

1. Введение понятия центра равнонадёжности в системах водоснабжения с сетями разветвленного типа, разработанная математическая модель и алгоритмическое решение задачи позволяют рассчитывать надежность водоснабжения отдельных потребителей воды в малых населенных пунктах.

2. Базовые показатели надежности – наработка на отказ T и среднее время восстановления T_B должны сравниваться с требованиями по надежности водоснабжения и, в случае необходимости, должны приниматься меры по увеличению надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення / Постанова Кабінету Міністрів України від 21 липня 2005р. №630.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-74:2013 – [Чинний від 2013-12-15], 2013. — К.: Мінрегіонбуд України. — 281.
3. Абрамов Н., 1974. О проблемах надежности систем водоснабжения // Водные ресурсы. – №2. – 114 – 119.
4. Абрамов Н., Малов В., 1976. О надежности систем водоснабжения и путях ее обеспечения //

- Известия АН СРСР. Энергетика и транспорт. – №1. –161 – 176.
5. Абрамов Н., 1984. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат. – 216.
 6. Абрамов Н., 1979. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат. – 231.
 7. Абрамов Н., 1982. Водоснабжение: [учебник]. – М.: Стройиздат. – 440.
 8. Ильин Ю., 1985. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат. – 240.
 9. Ильин Ю., 1987. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат. – 320.
 10. Готлось Г., 2004. Аварійність і вартість ремонту водопровідних мереж (на прикладі міст Польщі). Ринок інсталяцій. – №6 (90). – 9-12.
 11. П'єхурські Ф., 2003. Причини й оцінка аварійності розподільної водопровідної мережі. Ринок інсталяцій. – №6 (78). –11-13. – початок.
 12. П'єхурські Ф., 2003. Причини й оцінка аварійності розподільної водопровідної мережі / Флоріан П'єхурські // Ринок інсталяцій. – №6 (78). – 11-13. – закінчення.
 13. Рак Я., 2008. Інженерія безпеки громадських водогонів. Ринок інсталяцій. – 2008. – №9 (136). –6-10.
 14. Рак Я., 2010. Аналіз угроз і управління ризиком на водогінних системах. Ринок інсталяцій. – №5. – 5-7.
 15. Рак Я., Тхужевська-Цесьляк Б., Студзінський А. 2010. Як запобігти поломці у системі водопостачання. Ринок інсталяцій. – №9 (157). – 12-14.
 16. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., 2005. Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. - Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
 17. Rak J., 2005. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. – Komitet Inżynierii Środowiska PAN. – Т. 28. – Lublin. –1 – 215.
 18. Храменков С., 2005. Стратегия модернизации водопроводной сети. – М.: ОАО Из-во “Стройиздат”. – 400.
 19. Примин О., Орлов В., 2006. Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов. Водоснабжение и санитарная техника. – № 1. – ч. 1. 25-28.
 20. Алексеев М., Ермолин А., 2009. Вероятностные характеристики времени наработки между отками восстанавливаемых объектов водопроводно-канализационного хозяйства. Водоснабжение и санитарная техника. – №5. –26-28.
 21. Хоружий П., Хомуцька Т., Хоружий В., 2008. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука. – 534.
 22. Ткачук О., 2008. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів. – Рівне: НУВГП. – 301.
 23. Найманов А., 2005. О надежности систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – №7. –30 – 35.
 24. Новохатній В., 2012. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.04 – водопостачання, каналізація. – К.: КНУБА. – 32.
 25. Новохатній В., Костенко С., 2013. Надежность водопроводов систем водоснабжения. MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 15, №6 –101-108.
 26. Матяш А., 2014. Надежность водопроводных металлических труб Украины. MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 16, № 6. –17–125.
 27. Надійність техніки. Терміни та визначення. 195. ДСТУ 2860-94. – К.: Держстандарт України.
 28. Матяш О., 2012. Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж: автореф. дис. канд. техн. наук. – Рівне.: НУВГП. – 20.

DEPENDABILITY OF WATER-SUPPLY SYSTEMS SMALL SETTLEMENTS

Summary. In the article it is resulted algorithm of calculation of reliability of the ramified water network and his practical realization on the example of small settlement. On the basis of an offer method of calculation of reliability computer program is written for the acceleration of implementation of calculations and acceptance of effective engineering decisions from the increase of reliability.

Key words: water systems, dependability, reliability, maintainability.

К ВОПРОСУ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Виктор Сопов, Лариса Клевцова, Алина Баяк

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
Адрес: Украина, 61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40
E-mail: vsopov1959@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ возможных коррозионных процессов, протекающих в железобетонных коллекторах сточных вод. Приведены причины и механизмы коррозионных процессов. Показана роль биогенной сероводородной коррозии в разрушении сводовой части железобетонных коллекторов. Приведены способы предотвращения развития коррозионных процессов железобетонных подземных сооружений.

Ключевые слова: бетон, коррозия, коллектор, сточные воды, сероводород, разрушение.

ВВЕДЕНИЕ

Канализационные системы являются важной составляющей системы жизнеобеспечения городов, во многом определяющей их экологическое состояние.

В большинстве городов Украины канализационные коллектора проложены из железобетонных труб, изготовленных без защиты внутренней поверхности от агрессивного коррозионного воздействия канализационных стоков.

Многие из безнапорных железобетонных коллекторов большого диаметра уже исчерпали свой срок службы, что приводит к массовому выходу их из строя [1-4].

Приблизительно 30% и более железобетонных коллекторов в системах водоотведения крупных городов находятся в предаварийном состоянии.

Вследствие этого, важнейшей задачей эксплуатационных служб городских коллекторных сетей является постоянное поддержание работоспособного состояния железобетонных конструкций коллекторов с целью обеспечения промышленной безопасности сооружения, нормальных условий эксплуатации инженерных коммуникаций и безопасной работы обслуживающего персонала.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Широкое применение железобетона в конструкциях очистных сооружений обуславливает необходимость своевременного и правильного учета факторов, вызывающих разрушение бетона в агрессивной водной среде.

Изучением вопроса повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций в агрессивных средах занимались С. Алексеев [5], В. Бабушкин [6], В. Юрченко [7], В. Москвин [8], R. Morton [9] и другие. Результаты их исследований показали, что сточные воды в большинстве своем являются либо слабоагрессивными,

либо вообще неагрессивными. Этим обуславливается слабо выраженное коррозионное воздействие ниже уровня сточных вод.

Аварии на канализационных коллекторах обусловлены постепенным разрушением бетона труб в результате комплексного воздействия многих причин, основными из которых являются:

1. Естественное старение бетона.
2. Повышение агрессивности сточных вод.
3. Повышение агрессивности грунтовых вод.
4. Использование сырьевых материалов низкого качества при производстве бетона.
5. Некачественный монтаж коллекторов с последующим проявлением дефектов.
6. Внешние воздействия (механические, температурные).
7. Абразивное действие на поверхность бетона твердых частиц, находящихся в стоках.
8. Химическая коррозия бетона и арматуры.
9. Биохимическая коррозия бетона.

В результате воздействия указанных факторов происходит разрушение прежде всего свода обделки коллектора вплоть до его истончения и полного исчезновения.

Восстановление аварийных коллекторов осложняется тем обстоятельством, что в большинстве случаев отсутствует возможность переключения сточных вод на параллельные нитки. Вследствие чего невозможно осушение их от стоков на время ремонта и производство ремонтных работ осуществляется в коллекторах со сточными водами.

Рассматриваемая ситуация критична прежде всего для главных канализационных коллекторов больших диаметров (1м и более), которые относятся к основным элементам жизнеобеспечения городов.

В настоящее время для оценки коррозионного состояния бетона канализационных сетей не используются определенные критерии. И поэтому определить потенциальную опасность, связанную с разрушением бетонных конструкций, зачастую невозможно не зная количественных данных о характере и объеме повреждений.



Рис. 1. Характерные повреждения железобетонных трубопроводов

Fig. 1. Typical damage to concrete pipelines

Прежде всего необходимо выяснить причины, вызывающие коррозию, и факторы, влияющие на коррозионные процессы.

В Харькове железобетонные трубопроводы составляют четвертую часть городской канализационной сети. В основном они представляют собой коллекторные трубопроводы диаметром от 0,6 до 1,2 м. Анализ характера повреждений железобетонных трубопроводов (рис.1) показывает, что коррозии подвергаются своды трубопроводов 1 (53%) и стены колодцев 2 (21%), а разрушению – стыковые соединения 3 (19%) и лотки 4 (7 %).

Для предотвращения коррозии внутренней поверхности канализационных трубопроводов, следует еще при их проектировании обращать особое внимание на качество бетона, в первую очередь его проницаемость, и состав транспортируемых сточных вод, а также на обеспечение качественного обслуживания канализационных сетей.

Кроме того, при проектировании бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации в агрессивной среде, их коррозионную стойкость следует обеспечивать применением мер первичной защиты: снижением проницаемости бетона технологическими приемами, применением коррозионно-стойких материалов, добавок, повышающих коррозионную стойкость бетона и его защитную способность по отношению к стальной арматуре, установлением требований к категориям трещиностойкости, ширине расчетного раскрытия трещин, толщине защитного слоя бетона [10].

Сравнительный анализ причин

разрушения железобетонных коллекторов в Украине и Германии показывает, что для отечественных сооружений в 40 случаях из 100 основной причиной является коррозия, для Германии коррозионные процессы занимают всего 7%.

В настоящее время катастрофические последствия коррозионного разрушения бетонных сооружений водоотведения и водоочистки требуют неотложных мер по решению проблемы обеспечения их долговечности на этапах проектирования, строительства и эксплуатации.

Безопасная эксплуатация железобетонных подземных сооружений возможна на основе учета мирового опыта и проведения масштабных исследований с привлечением специалистов в областях химии, технологии бетонов, строительной механики микробиологии, проектирования.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данного исследования является анализ причин коррозионного разрушения железобетонных подземных сооружений при агрессивном воздействии внутренних и внешних факторов и поиск путей предотвращения коррозии бетона на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации.

Задача исследования заключается в разработке комплекса мероприятий, направленных на предотвращение коррозионных процессов в бетоне подземных сооружений в условиях воздействия агрессивных сред.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Накопленный опыт эксплуатации конструкций и результаты исследований позволили В. Москвину [8] выделить три основных вида коррозии.

Коррозия I вида связана с действием мягких вод, приводящих к растворению и вымыванию составных частей цементного камня. Наиболее часто коррозия I вида наблюдается при фильтрации воды через бетон.

К коррозии II вида относятся процессы химического взаимодействия кислот и магниезальных солей, содержащихся в воде, с компонентами цементного камня. При этом образуются легкорастворимые продукты в виде аморфной массы, которые уносятся водой или остаются на месте реакции.

Коррозия III вида обусловлена процессами, сопровождающимися накоплением в порах и капиллярах бетона малорастворимых солей, кристаллизация которых вызывает значительные напряжения в стенках пор и приводит к разрушению элементов микроструктуры бетона.

Примером коррозии III вида может служить действие сульфатов, при котором рост кристаллов гидросульфатоалюминатов кальция может вызвать разрушение бетона.

В. Бабушкиным было обращено внимание на некоторую неоднозначность физической интерпретации результатов коррозии II вида и предложено разделить коррозионные процессы на три условные группы: физические, химические и физико-химические [6].

Физическая коррозия обусловлена характерными изменениями температуры и влажности среды – нагрев и остывание, увлажнение и высыхание. Нарушение термовлажностного равновесия между средой и бетоном, величина которого определяется соответствующими градиентами температуры и влажности, приводит к возникновению внутренних напряжений, усадочных и температурных деформаций в бетоне. Кроме того, к физической коррозии могут быть отнесены процессы испарения и капиллярной конденсации поровой влаги, характерные для бетона, что сопровождается деформациями усадки и набухания.

Физико-химическая коррозия обусловлена процессами выщелачивания, контракции, осмоса и диффузии жидких и газообразных сред в бетон.

Химическая коррозия связана с разрушением бетона кислотами, щелочами, растворами солей, различными органическими соединениями, агрессивными газами и

биологическими соединениями. Если в воздушно-сухих условиях действие газов на бетон является незначительным, то при повышенных температуре и влажности оказывается не менее опасным, чем жидкие агрессивные среды.

В железобетонных коллекторах наблюдаются все три вида коррозии, но во всех случаях преобладающим является один из факторов (физический, физико-химический или химический).

Хозяйственно-бытовые сточные воды содержат огромное количество растворённых веществ, из которых наиболее значимы: хлориды, сульфаты, растворённая углекислота, органические вещества, сложный комплекс микроорганизмов, в том числе бактерии, споры грибов, водоросли и другие.

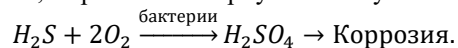
Количество бактерий в 1 мл хозяйственно-бытовых сточных вод исчисляется десятками миллионов. Кроме того, они содержат разнообразные органические (58%) и минеральные (42%) вещества. Также в составе хозяйственно-бытовых сточных вод выделяют различные нерастворимые мелкодисперсные вещества в виде взвесей (размер частиц более 100 мкм), суспензий, эмульсий, пен (размер частиц от 100 до 0,1 мкм), коллоидных частиц с размерами 0,1 до 0,001 мкм и растворенных веществ (молекулярно-дисперсные частицы с размерами менее 0,001 мкм).

При нормальной эксплуатации коллекторов хозяйственно-бытовые стоки являются слабоагрессивными или неагрессивными по отношению к бетонам марок по водонепроницаемости W8 и выше.

Образование промышленных сточных вод, их состав и концентрации растворенных веществ зависят от вида и количества производимой продукции, технологии производства и других факторов.

Долговечность железобетонных коллекторов зависит, таким образом, от огромного количества факторов. Рассмотрим наиболее значимые из них.

Как ни странно, но эффективная работа коллекторов находится под постоянной угрозой из-за простой молекулы H_2S или сульфида водорода. Сульфид генерируется в объеме сточных вод из сульфатов и органических отходов и затем удаляется в атмосферу канализационных коллекторов в виде сероводорода (рис. 2). На сводах коллекторов находятся тионовые бактерии, которые потребляют сероводород и окисляют его воздухом, вырабатывая серную кислоту:



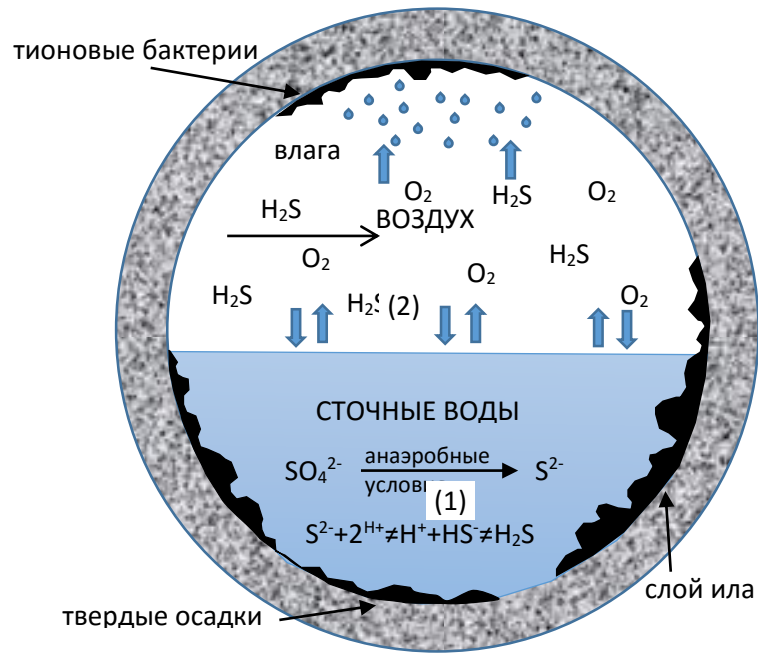


Рис.2. Коррозионные процессы, протекающие в коллекторах

Fig.2. Corrosion processes in sewers

Таким образом, разрушение бетона коллекторов сточных вод в сводовой части является результатом воздействия серной кислоты. Такой тип коррозии получил название биогенной сероводородной коррозии [11-15].

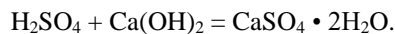
Механизм биогенной сероводородной коррозии, предложенный С. Паркером [16-17] протекает по следующей схеме (рис.2):

– в анаэробном слое иловых отложений находятся сульфатредуцирующие бактерии, которые восстанавливают сульфаты до сульфидов, включая H_2S (1);

– в атмосферу коллектора выделяется сероводород, который растворяется в конденсатной влаге сводовой поверхности труб (2);

– находящиеся на сводовой поверхности аэробные тионовые бактерии окисляют H_2S и другие серосодержащие соединения до H_2SO_4 ;

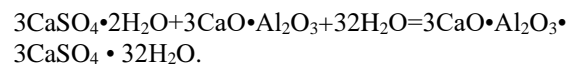
– серная кислота (H_2SO_4) вступает в реакцию с гидроксидом кальция бетона с образованием двуводного гипса:



В результате в жидкой фазе бетона понижается концентрация гидроксида кальция, что приводит к нарушению химического равновесия и разложению алюминатов и силикатов кальция, а также других компонентов цементного камня.

Часть гипса проникает вглубь структуры бетона и вступает в реакцию с алюминатами кальция с образованием гидросульфалюмината

кальция (этtringит):



Кристаллизация этtringита вызывает увеличение объема твердой фазы и, как следствие, возникают напряжения, приводящие к растрескиванию бетона и дальнейшему распространению коррозионных процессов вглубь материала.

Скорость коррозионных процессов при этом может быть достаточно большой.

Как показали результаты обследования коллекторов в Германии [18] глубина разрушения изменялась от 3 до 40 мм в год. Средняя скорость коррозии бетона в сводах коллекторов хозяйственно-бытовых стоков в ряде случаев достигает 10 – 20 мм/год. По данным Н. Розенталя [19], один из каналов в Москве после 27 лет эксплуатации имел повреждение бетона в сводовой части на глубину до 7 см, а в коллекторах Москвы, Зеленограда, Набережных Челнов, Рязани скорость коррозии достигала до 1 см в год.

Различными авторами предпринимались попытки рассчитать глубину разрушения бетона в газовой среде коллектора на основе эмпирических формул для расчёта скорости коррозии бетона. Однако, полученные результаты расчетов могут быть использованы лишь для ориентировочного прогноза и не отражают реальных событий, протекающих в

сводовой части коллекторов.

Из вышесказанного следует, что скорость биогенной сероводородной коррозии бетона зависит, главным образом, от интенсивности развития тиобактерий и продуцирования ими серной кислоты. Развитию тиобактерий способствует повышенная температура, высокая влажность и наличие питательной среды.

Анализ среды коллекторов показал присутствие других агрессивных газов – оксидов азота, серы, углерода, а на поверхности бетона – различных грибов и бактерий. Поскольку предполагается, что другие кислые газы: оксиды углерода, серы, азота также оказывают влияние на коррозионное состояние бетона, моделирование такой агрессивной среды и прогнозирование характера протекающих коррозионных процессов весьма затруднено.

Химический анализ продуктов коррозии бетона в газовой среде коллекторов показывает наличие ограниченно растворимых сульфатов и сульфидов, которые большей частью остаются в разрушенном бетоне. Воздействие оксидов азота приводит к образованию нитратов и нитритов, хорошо растворимых и потому легко вымываемых из бетона.

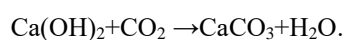
Углекислый газ и сернистые газы являются неагрессивными по отношению к бетону при условии, что их концентрация не превышает следующих значений:

$$\text{CO}_2 < 1000 \text{ мг/м}^3; \text{NH}_3 < 0,2 \text{ мг/м}^3; \text{SO}_2 < 0,5 \text{ мг/м}^3; \\ \text{Cl} < 0,1 \text{ мг/м}^3; \text{H}_2\text{S} < 0,01 \text{ мг/м}^3; \text{HCl} < 0,05 \text{ мг/м}^3.$$

Превышение концентрации агрессивных газов в условиях повышенной влажности сопровождается слабой агрессией по отношению к бетону. Однако, даже в этом случае толщина прородированного слоя бетона может быть соизмерима с толщиной защитного слоя и стать причиной коррозии стальной арматуры.

Наибольшую опасность для бетона представляет углекислый газ, находящийся как в атмосфере коллекторов, так и растворенный в сточных водах.

В атмосфере воздействие углекислого газа на бетон сопровождается разрушением кальций-содержащих соединений и, в первую очередь, гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Взаимодействие углекислого газа с гидроксидом кальция сопровождается образованием карбоната кальция CaCO_3 и приводит к снижению pH поровой жидкости бетона, что способствует потере пассивирующего действия бетона по отношению к арматуре и, как следствие, коррозии арматуры (рис.3):



Таким образом, чем больше глубина

карбонизации бетона, тем выше опасность коррозии арматуры.

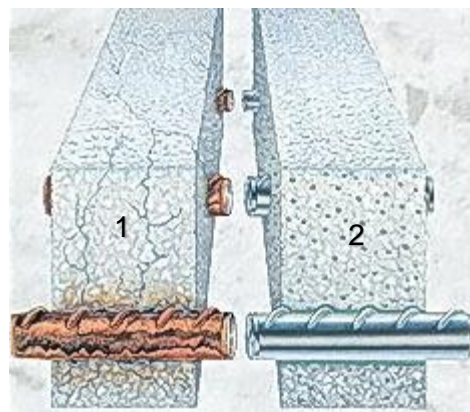


Рис.3. Влияние карбонизации на коррозию арматуры в бетоне

Fig. 3. Influence of carbonation on corrosion of reinforcement in concrete

1 – бетон подвергшийся карбонизации; 2 – не карбонизированный бетон

Растворяясь в воде, углекислый газ действует уже как кислота. При этом кальцийсодержащие соединения также разрушаются, образуя хорошо растворимый бикарбонат кальция, который выносится из бетона: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Карбонизация бетона является одной из наиболее распространённых причин коррозии железобетона и имеет максимальную скорость при влажности среды 50-60%.

Для защиты бетона от карбонизации необходимо, чтобы его марка по водонепроницаемости составляла не менее W6.

Таким образом, внутренняя часть железобетонных коллекторов сточных вод подвергается воздействию жидких и газообразных агрессивных сред, степень агрессивности которых зависит от состава сточных вод, температуры, влажности и многих других факторов.

В лотковой части коллекторов бетон подвергается истирающему действию сточных вод, содержащих взвеси твердых частиц. В подсводовом пространстве коллекторов на долговечность бетона оказывает влияние агрессивная газовая среда.

Обследование коллекторов показывает наличие механических повреждений бетона конструкций. Их возникновение связано с некачественным производством работ при монтаже и засыпке трубопроводов, с деформацией основания при уплотнении или размытии грунта.

Механические повреждения также могут возникать в результате контактного воздействия

тяжелых предметов, попадающих в коллекторы.

Кроме агрессивного влияния внутренней среды коллекторов, их железобетонные конструкции испытывают воздействие и с внешней стороны: давление грунта, усугубляемое дополнительными нагрузками от движущегося транспорта; подземные воды, температурные изменения и пр.

Следует учитывать, что давление подземных вод на внешнюю бетонную поверхность коллектора в отдельных случаях может быть весьма ощутимым. При водопроницаемости бетона менее W8 воздействие подземных вод приводит к водонасыщению бетона, что существенным образом снижает его защитные свойства при замораживании-оттаивании.

Механические нагрузки в сочетании с температурно-влажностными деформациями приводят к образованию трещин в бетоне, что способствует быстрому насыщению бетона водой и ускоренному разрушению его в условиях знакопеременных температур.

Таким образом, основными факторами влияния на развитие коррозионных процессов в бетонах коллекторов являются:

- наличие напорных трубопроводов перед безнапорными коллекторными тоннелями. При турбулентном движении сточной воды в напорных трубопроводах возрастает количество сульфидов и уменьшается количество растворенного кислорода, что способствует протеканию реакций с выделением сероводорода;

- низкое содержание в сточных водах растворенного кислорода также создает благоприятные условия для образования сероводорода;

- низкое качество, высокая пористость и газо- и водопроницаемость бетона также способствует развитию коррозионных процессов

в бетоне.

Для защиты бетона сетей водоотведения от коррозии необходимо использовать ряд мер как на этапе проектирования и возведения коллекторов, так и в процессе их эксплуатации (таблица 1).

Основные мероприятия по повышению долговечности железобетонных коллекторов делятся на первичные, вторичные, проектные и эксплуатационные.

Основной задачей этих мероприятий является создание таких конструкций коллекторов, которые будут максимально устойчивы к данной среде [20-21]. Если речь идет о действующих коллекторах, то задачей для них является минимизация условий, повышающих агрессивность среды по отношению к бетону водоотводящего коллектора.

К мерам первичной защиты коллекторов могут быть отнесены мероприятия, направленные на повышение стойкости бетона к агрессивному воздействию среды:

- создание низкопористой и малопроницаемой структуры бетона;
- использование качественных сырьевых материалов для изготовления бетона – низкоалюминатные и сульфатостойкие цементы, карбонатные заполнители, химические и минеральные добавки, повышающие плотность, стойкость в сульфатных средах и водонепроницаемость бетона;
- применение композитной арматуры для армирования конструкций коллекторов;
- использование технологических приемов при приготовлении, укладке бетонных смесей и уходе за твердеющим бетоном, исключающих трещинообразование и развитие негативных процессов в структуре бетона.

Таблица 1. Меры по защите бетона подземных канализационных сооружений

Table 1. Measures for the protection of concrete underground sewage facilities

Этапы работ	Защитные меры
Проектирование	Проектирование коллекторов с ламинарным течением сточных вод. Проектирование систем аэрации сточных вод и принудительной вентиляции подсводового пространства. Проектирование параллельных дублирующих коллекторов
Возведение	Применение специальных бетонов повышенной коррозионной стойкости и низкой водопроницаемости Соответствие толщины защитного слоя железобетона соответствующей данной агрессивной среде Использование специальных защитных материалов Устройство недеформируемого грунтового основания Строгий контроль за качеством монтажа трубопроводов и изоляции стыков
Эксплуатация	Систематический мониторинг состояния коллектора Своевременный ремонт с применением дополнительных защитных мер

Задача вторичной защиты – ограничить или не допустить возможность контакта агрессивной среды и железобетона.

Антикоррозионную защиту поверхностей железобетонных сооружений следует выбирать исходя из условий возможности возобновления защитных покрытий.

Для этого используются:

- лакокрасочные покрытия при действии газообразных и твердых сред,

- оклеечные покрытия при действии жидких сред,

- облицовочные покрытия, в том числе из полимербетонов при действии жидких сред и в качестве защиты от механических повреждений оклеенного покрытия,

- пропитка при действии жидких сред,

- гидрофобизация при периодическом увлажнении водой или атмосферными осадками, образовании конденсата, в качестве обработки поверхности до нанесения грунтовочного слоя под лакокрасочные покрытия.

Наиболее экономичными в этом плане являются лакокрасочные и мастичные покрытия (их доля среди материалов вторичной защиты составляет более 80%).

Меры, принимаемые на этапе проектирования:

- строительство коллекторов глубокого заложения без напорных участков с незначительной турбулентностью потока сточных вод, что будет способствовать резкому уменьшению выделения сероводорода,

- создание принудительной вентиляции в системе водоводов, что позволит снизить концентрацию сероводорода до предельно допустимой.

На стадии эксплуатации:

- создание в сточных водах коллектора окислительной среды (аэрация, озонирование воды, введение окислителей) подавляет жизнедеятельность анаэробных тионовых бактерий и предотвращает образование сероводорода,

- использование специальных ремонтных составов, повышающих коррозионную стойкость бетонов коллекторов (проникающая гидроизоляция, полифункциональные модификаторы фунгицидного действия и пр.).

ВЫВОДЫ

Анализ состояния действующих коллекторов сточных вод, причин коррозии бетона и мер по ее предотвращению позволяет сделать вывод о необходимости принятия комплексных решений по обеспечению долговечности такого рода сооружений на стадиях проектирования, возведения и эксплуатации.

Необходимо использование накопленного опыта зарубежных и отечественных ученых по

созданию коррозионноустойчивых бетонных сооружений, специальных защитных покрытий, использованию современных композиционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович И., 2005. Сети и сооружения водоотведения: расчет, проектирование, эксплуатация. – Харьков: Коллегиум. – 228.
2. Гончаренко Д., 2008. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. – Харьков: Консум. – 400.
3. Гончаренко Д., Алейникова А., 2013. Водопроводные сети г. Харькова и возможные пути повышения их эксплуатационной долговечности // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 15. – № 6. – 3-10.
4. OFWAT., 2004. Maintaining Water and Sewerage Systems in England and Wales, Our Proposed Approach for the 2004 Periodic Review. London.
5. Алексеев С. и др., 1990. Долговечность железобетона в агрессивных средах: Совм.изд. СССР — ЧССР — ФРГ/С. Алексеев, Ф. Иванов, С. Модры, П. Шисль. — М.: Стройиздат, — 320.
6. Бабушкин В.И., 1966. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. Москва: Стройиздат. – 216.
7. Юрченко В., 2006. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических соединений: Дис... д-ра техн. наук: 05.23.04. – Харьков. – 395.
8. Москвин В. и др., 1988. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. / В. Москвин, Ф. Иванов, С. Алексеев, Е. Гузеев. / Под общей ред. В. Москвина. – Москва: Стройиздат. – 536.
9. Morton R., Caballero R., Chen C.-L., Redner J., 1989. Study of sulfide generation and concrete corrosion of sanitary sewers. Wittier, California. – 96.
10. Степанова В., 2014. Долговечность бетона. Учебное пособие для вузов. Москва. – 126 с.
11. Milde, K., Sand, W., Wolff, W., Bock, E., 1983. «Thiobacilli of the corroded concrete walls of the Hamburg sewer system», Journal of General Microbiology, 129. - 1327-1333.
12. Sand, W., 1987. «Importance of hydrogen-sulfide, thiosulfate, and methylmercaptan for growth of Thiobacilli during simulation of concrete corrosion», Applied and Environmental Microbiology, 53 (7), 1645-1648.

13. Islander, R.L., Deviny, J.S., Mansfeld, F., Postyn, A., Hong, S., 1991. «Microbial ecology of crown corrosion in sewers», *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 117 (6), 751-770.
14. Vincke, E., Boon, N., Verstraete, W., 2001. «Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes – a case study», *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57 (5/6), 776-785.
15. Sanchez-Silva, M., Rosowsky, D.V., 2008. «Biodeterioration of construction materials: State of the art and future challenges», *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20 (5), 352-365.
16. Parker C., 1947. Species of sulfur bacteria associated with the corrosion of concrete. - *Naturu*, 159, n. 4039, 439 – 440.
17. Parker C., 1947. The corrosion of concrete. - *Austral. J. Exp. Biol. Med. Sci.*, 23, 81 – 98.
18. Bielecki R., Schremmer H., 1987. Biogene Schwefelsäure-Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen. Sonderdruck aus Heft 94 / 1987 der Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig.
19. Розенталь Н., 2006. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. - М.: ФГУП ЦПП. – 520.
20. Косухин М. и др., 2013. Повышение долговечности железобетона водоотводящих коллекторов. Косухин М., Полуэктова В., Апалькова Л., Шарапов О., Малиновкер В. // *Technical Sciences. Fundamental Research*. - №8. – 838-840.
21. Куликова Е., 2013. Эксплуатационная безопасность городских подземных сооружений // *Научный вестник МГГУ*. - № 5 (38). - 50-61.

THE ISSUE LIFE NETWORKS WATER DISPOSAL

Summary. The analysis of possible corrosion processes in the concrete of sewers. We present the causes and mechanisms of corrosion processes. The role of biogenic hydrogen sulfide corrosion in the destruction of arched part concrete of sewers. There are ways to prevent the development of corrosion processes of underground concrete structures.

Key words: concrete, corrosion, collector, wastewater, hydrogen sulfide, destruction.

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ МАЛЫХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ БАССЕЙНОВ СТОКА НА ГИДРОГРАФЫ ПРИТОКА ДОЖДЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Владимир Жук

Национальный университет "Львовская политехника"

Адрес: Украина, г. Львов, ул. Карпинского, 6

E-mail: zhuk_vm@ukr.net

Аннотация. Представлены результаты теоретических исследований влияния формы в плане малых урбанизированных бассейнов стока на гидрографы притока дождевых сточных вод, полученные с использованием секторного метода расчета поверхностного стока. Результаты работы могут быть применены для усовершенствования методов гидравлического расчета емкостных регулирующих сооружений дождевого стока при обустройстве точечных схем поверхностного водоотведения на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: гидрограф притока, дождевой сток, урбанизированная территория, бассейн стока.

ВВЕДЕНИЕ

Существенное изменение климатических характеристик, связанное с глобальным потеплением, вместе с интенсивной урбанизацией территорий обуславливают возрастание нагрузок на системы дождевого водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий. Надежность и устойчивость работы систем дождевого водоотведения являются важными составляющими обеспечения нормальной жизнедеятельности, влияя на экологическое состояние окружающей среды [1, 18, 20, 21, 22]. Основным путем защиты урбанизированных территорий от подтоплений является комплексное регулирование дождевого стока со всей территории бассейна. Анализ известных эксплуатационных практик показывает, что наиболее высокими технико-экономическими показателями характеризуется рассредоточенное регулирование стока с помощью комплекса специальных сооружений, использующих принципы локального накопления поверхностного стока, его задержания во времени, а также инфильтрации в грунт [1, 20, 21].

Основной количественной характеристикой дождевого стока, необходимой для гидравлического расчета емкостных регулирующих сооружений систем дождевого водоотведения, является гидрограф дождевого стока [1, 18, 20, 21]. В общем случае гидрограф стока зависит от климатических условий местности, топогеодезических параметров бассейна стока, гидрогеологических характеристик притока дождевых сточных вод обычно используют площадки и от проектно-конструктивных решений так называемую линейную модель концентрации по организации отведения поверхностного стока стока [18, 20]. Эта модель основана на методе [2, 3, 4, 5, 9, 21].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Строгий теоретический подход к построению скорости поверхностного течения постоянна, а гидрографов дождевого стока с урбанизированных нарастание во времени площади, формирующей территорий основан на решении дифференциальных стоков в контрольном сечении, изменяется по уравнений нестационарного безнапорного течения слинейному закону. В работах [14, 15] показано

переменным расходом (уравнений Сен-Венана). Приближенными аналитическими решениями уравнений Сен-Венана являются уравнения кинематической и динамической волн [6, 11].

Учитывая многофакторность зависимости гидрографов притока дождевых сточных вод с урбанизированных территорий от значений входных параметров, при разработке соответствующих методов гидравлического расчета часто используют упрощенные математические модели, учитывающие лишь общие интегральные характеристики стока, например, расчетный максимальный расход и время концентрации стока [8, 18].

Одним из наиболее распространенных подходов к построению гидрографов стока является метод единичного гидрографа (Unit hydrograph method) [3, 8, 9]. Концепция этого метода была разработана Шерманом [7]. Единичный гидрограф – это гидрограф, образованный единичным объемом дождевого стока, вызванного дождем определенной продолжительности. Вместе с тем, использование метода единичного гидрографа имеет ряд ограничений: бассейн стока должен быть линейным в плане, а интенсивность выпадения дождя – одинаковой по всей площади бассейна стока; высота слоя стока принимается одинаковой на протяжении периода выпадения дождя. Таким образом, протяженность гидрографа стока во времени зависит от продолжительности выпадения дождя, но никак не связана с его интенсивностью.

В Украине для построения гидрографов притока дождевых сточных вод обычно используют площадки и от проектно-конструктивных решений так называемую линейную модель концентрации по организации отведения поверхностного стока стока [18, 20]. Эта модель основана на методе граничных интенсивностей, а также на следующих допущениях и предположениях: бассейн стока принимается в виде вытянутого прямоугольника, интенсивность выпадения дождя меняется во времени по степенному нисходящему закону,

существенное влияние формы бассейна стока в плане при всех других допущениях, указанных выше. В работах [10, 16] получены аналитические решения для параметров дождевого стока при переменной скорости течения поверхностного стока для линейных в плане бассейнов, а в [17, 19] – аналогичные результаты для радиальных в плане бассейнов.

Анализ показывает, что одним из общих недостатков большинства известных методов расчета гидрографов дождевого стока с урбанизированных территорий является пренебрежение влиянием на форму гидрографа реальной конфигурации в плане бассейна стока. Предложенный в работе [13] секторный метод позволяет рассчитать гидрограф дождевого стока с однородного бассейна произвольной конфигурации в плане.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящего исследования является теоретический анализ и усовершенствование метода расчета гидрографов притока дождевых сточных вод в системах точечного поверхностного водоотведения с урбанизированных территорий с учетом конфигурации бассейна стока в плане.

Задачи исследования предусматривают: математическое описание конфигурации типичных малых урбанизированных бассейнов стока для возможности применения к ним секторного метода расчета гидрографов притока; обобщение полученных гидрографов путем приведения их к безразмерному виду.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для расчета гидрографов притока дождевых сточных вод с урбанизированных бассейнов стока произвольной формы в плане в работе [13] был предложен секторный метод, согласно которому бассейн стока разбивается на большое количество элементарных секторов с вершиной в точке расположения водоприемника. В таком случае с высокой степенью точности каждый сектор может рассматриваться как радиальный в плане бассейн стока (рис. 1).

Для i -го сектора бассейна стока время поверхностной концентрации согласно [17] может быть рассчитано по формуле:

$$t_{con,i} = \frac{1,415(r_{con,i} n_1)^{0,6}}{(\psi_{mid} q_0)^{0,4} i_o^{0,3}}, \text{ с}, \quad (1)$$

где: $r_{con,i}$ – радиус концентрации стока для i -го сектора, как функция геометрической формы бассейна стока в плане и значения угла φ ; n_1 – коэффициент шероховатости; ψ_{mid} – коэффициент стока; q_0 – интенсивность выпадения дождя, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; i_o – продольный уклон.

Согласно методу граничной интенсивности критическая продолжительность дождя, отвечающая максимальному расходу дождевого стока, равна времени концентрации стока ($t_0 = t_{con}$). Тогда интенсивность расчетного дождя q_0 , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$q_0 = q_{20} (1200/t_{con})^n, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где: q_{20} – расчетная интенсивность выпадения дождя продолжительностью 20 мин с периодом одно-кратного превышения $P=1$ год, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; t_{con} – время концентрации для всей площади водостока; n – показатель степени в уравнении $q=A/t^n$, описывающем зависимость граничной интенсивности выпадения дождя q от его продолжительности t ; в Украине определяется по действующему нормативному документу [12].

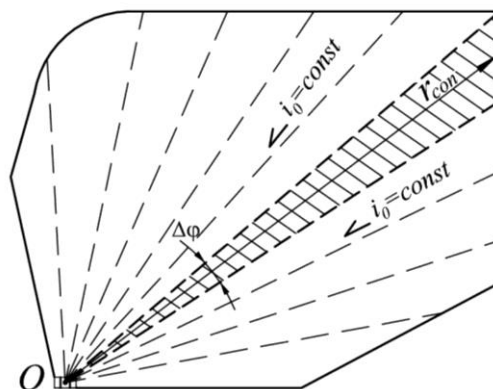


Рис. 1. Схема точечного водоотвода из однородного урбанизированного бассейна стока произвольной конфигурации в плане

Fig. 1. Point-type scheme of the stormwater drainage of uniform urbanized catchment of arbitrary configuration

В соответствии с рациональным методом [8] максимальный расход для i -го сектора:

$$Q_{r,i} = \psi_{mid} q_0 \Delta\phi r_{con,i}^2 / 2, \quad (3)$$

где: $\Delta\phi$ – угловой размер сектора (рис. 1).

Как показано в работах [13, 17], гидрограф стока с i -го сектора может быть описан следующими теоретическими зависимостями:

– на первом этапе (при $t < t_{con,i}$):

$$Q_{t,i} = Q_{r,i} \cdot (t/t_{con,i})^{0/3}, \quad (4)$$

– на втором этапе (при $t_{con,i} < t < t_0$):

$$Q_{t,i} = Q_{r,i}, \quad (5)$$

– на третьем этапе (при $t_0 < t < (t_0 + t_{con,i})$):

$$Q_{t,i} = Q_{r,i} \cdot [1 - (t/t_{con,i} - t_0/t_{con,i})^{0/3}]. \quad (6)$$

Суммарный гидрограф стока получают, интегрируя гидрографы стока с элементарных секторов, пренебрегая, таким образом, взаимным влиянием потоков в соседних секторах [13]:

$$Q_t = \sum Q_{t,i}. \quad (7)$$

Для реализации предложенного метода разработана компьютерная программа, позволяющая получить расчетный гидрограф с бассейна стока произвольной конфигурации в плане. Рассмотрены однородные бассейны стока, для которых значения коэффициента шероховатости, продольного уклона, коэффициента стока и интенсивности выпадения дождя одинаковые по площади и неизменные во времени.

Предложенный метод реализован для трех простейших типичных бассейнов стока:

- 1) прямоугольного в плане бассейна стока длиной L и шириной b (рис. 2, а),
- 2) треугольного в плане бассейна стока секторного типа длиной L и шириной a (рис. 2, б),
- 3) треугольного в плане бассейна стока обратного типа длиной L и шириной c (рис. 2, в).

Бассейн стока произвольной конфигурации в плане с достаточной точностью можно представить как сумму двух или более типичных бассейнов.

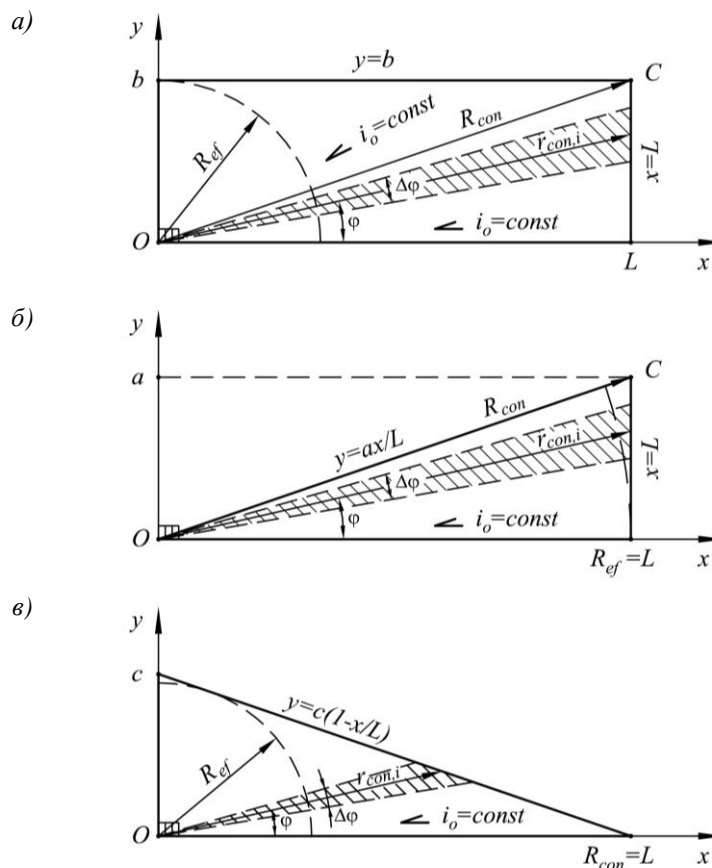


Рис. 2. Типовые схемы обустройства систем точечного поверхностного водоотведения и их геометрические характеристики (а, б, в – соответственно прямоугольный, треугольный и обратный треугольный бассейны стока)

Fig. 2. Typical schemes of point-type stormwater drainage systems and their geometrical characteristics (a, б, в – respectively rectangular, triangular, and reverse triangular catchments)

Для прямоугольных бассейнов стока (рис. 2,а) радиус i -го сектора в зависимости от угла φ :

$$\text{при } 0 \leq \varphi < \arctg(b/L): \quad r_{con,i} = \frac{L}{\cos \varphi}, \quad (8)$$

$$\text{при } \arctg(b/L) \leq \varphi < \pi/2: \quad r_{con,i} = \frac{b}{\sin \varphi}. \quad (9)$$

Полный радиус концентрации стока для прямоугольного в плане бассейна: $R_{con} = \sqrt{L^2 + b^2}$, тогда как эффективный радиус концентрации, очерчивающий радиальную часть бассейна стока: при $L \geq b$: $R_{ef} = b$; при $L < b$: $R_{ef} = L$.

Радиус i -го сектора для треугольных в плане бассейнов стока секторного типа (рис. 2,б):

$$\text{при } 0 \leq \varphi \leq \arctg(a/L): \quad r_{con,i} = \frac{L}{\cos \varphi}, \quad (10)$$

полный радиус концентрации $R_{con} = \sqrt{L^2 + a^2}$, а эффективный радиус концентрации $R_{ef} = L$.

Для треугольных в плане бассейнов стока обратного типа (рис. 2,в) радиус i -го сектора:

$$\text{при } 0 \leq \varphi \leq \pi/2: \quad r_{con,i} = \frac{cL}{(L \sin \varphi + c \cos \varphi)}, \quad (11)$$

полный радиус концентрации $R_{con} = L$ при $c \leq L$; $R_{con} = c$ при $c > L$; а эффективный радиус:

$$R_{ef} = c (1 + c^2 / L^2)^{-1/2}. \quad (12)$$

Расчет гидрографов стока выполнен для таких диапазонов значений исходных параметров: $F=100-2000 \text{ м}^2$; $q_{20}=90-110 \text{ л/(с·га)}$; $n_1=0,013-0,02$; $i_o=0,005-0,03$; $\psi_{mid}=0,5-1$; $n=0,71$.

Погрешность расчета контролировали по относительному расхождению теоретических и численных значений объема дождевого стока, которое не превышало 0,01%.

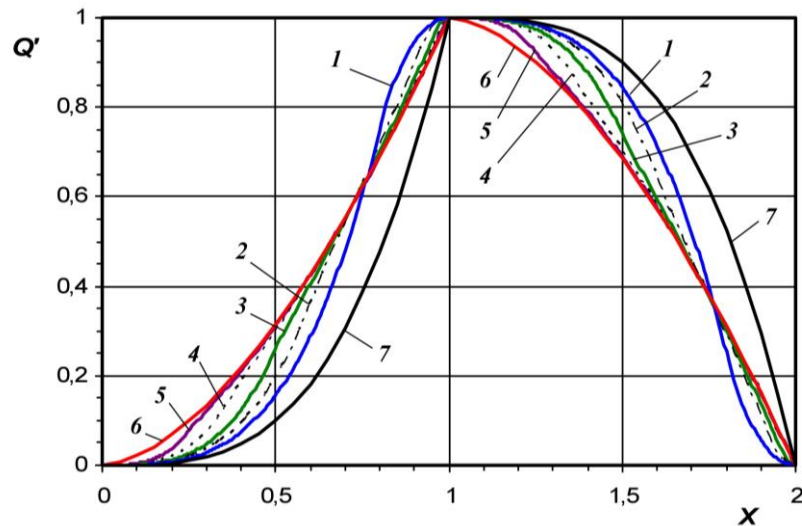
Для бассейнов всех описанных выше простейших конфигураций получено, что время концентрации стока для сектора наибольшей протяженности является также временем концентрации для всего бассейна стока:

$$t_{con} = \left[\frac{1,41 \cdot (R_{con} \cdot n_1)^{0,6}}{(1200^n \psi_{mid} q_{20})^{0,4} i_o^{0,3}} \right]^{\frac{1}{1-0,4n}}. \quad (13)$$

Полученные размерные гидрографы стока были приведены к безразмерному виду. В качестве масштаба времени выбрано время концентрации для всего бассейна стока, определяемое по (13), а в качестве масштаба расхода – максимальный секундный расход Q_r , соответствующий t_{con} :

$$Q_r = (\psi_{mid} q_{20})^{\frac{1}{1-0,4n}} \left(\frac{848 \cdot i_o^{0,3}}{n_1^{0,6} R_{con}^{0,6}} \right)^{\frac{n}{1-0,4n}} \cdot F. \quad (14)$$

Получено, что безразмерные гидрографы стока для всех трех конфигураций в плане не зависят от численных значений площади бассейна стока F , коэффициента стока ψ_{mid} , интенсивности q_{20} , продольного уклона i_o и коэффициента шероховатости n_1 . Безразмерные гидрографы являются лишь функцией показателя степени n и геометрического симплекса, описывающего соотношение сторон однородного бассейна стока L/b , L/a или L/c (рис. 3–5). Безразмерное время обозначено как $X=t/t_{con}$, а безразмерный расход – Q' .



1 – $L/b=1$; 2 – $L/b=2$; 3 – $L/b=3$; 4 – $L/b=5$; 5 – $L/b=10$;
6 – линейные в плане бассейны стока; 7 – радиальные в плане бассейны стока

Рис. 3. Безразмерные гидрографы притока дождевых сточных вод из прямоугольных в плане бассейнов стока ($n=0,71$)

Fig. 3. Dimensionless stormwater hydrographs from rectangular catchments ($n=0.71$)

В отличие от гидрографов, полученных для линейных и радиальных бассейнов стока, гидрографы притока с прямоугольных и треугольных в плане бассейнов характеризуются плавностью переходов между первым и вторым этапами (рис. 3–5).

Обобщенные безразмерные гидрографы притока с прямоугольных в плане бассейнов стока, представленные на рис. 3, показывают существенную зависимость формы гидрографа от соотношения длин сторон L/b .

К гидрографу радиальной модели (кривая 7) более всего приближается безразмерный гидрограф притока при соотношении $L/b=1$, так как в этом случае отношение эффективного радиуса концентрации R_{ef} к длине пути концентрации R_{con} является максимальным. При увеличении или уменьшении соотношения L/b относительно значения $L/b=1$ имеет место постепенное приближение безразмерного гидрографа к теоретическому гидрографу для линейной модели. Очевидно, что имеет место симметрия результатов относительно центрального отношения $L/b=1$. Например, идентичными являются безразмерные гидрографы притока для бассейнов с соотношениями $L/b=2$ и $0,5$; $L/b=4$ и $0,25$ и т.д.

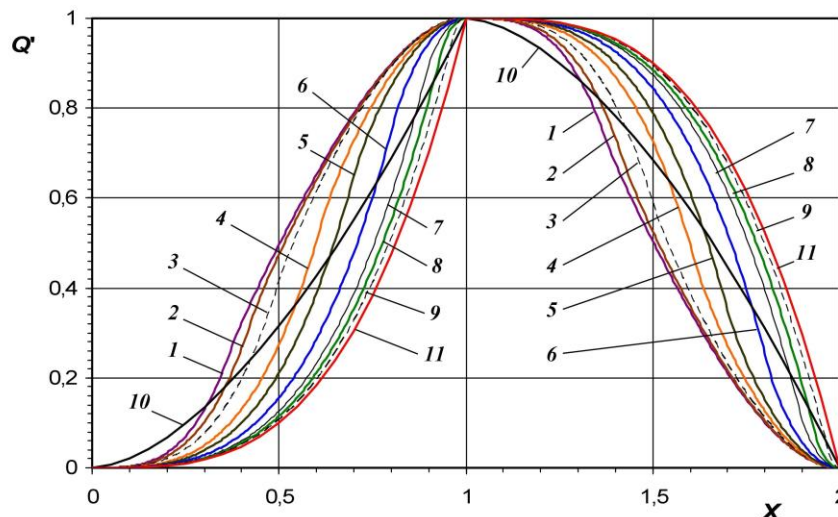
При $L/b \geq 10$ и $L/b \leq 0,1$ безразмерные гидрографы притока практически совпадают с гидрографом для линейных бассейнов стока (рис. 3).

Безразмерные обобщенные гидрографы притока с треугольных в плане бассейнов стока секторного типа представлены на рис. 4.

Получено, что при соотношениях длин сторон $L/a \geq 3$ безразмерные гидрографы притока из треугольных в плане бассейнов стока секторного типа практически накладываются на теоретический гидрограф для радиального в плане бассейна (рис. 4). При меньших значениях соотношения L/a первые этапы гидрографов притока (при $t \leq t_0$) приобретают вид S-образных кривых, которые существенно отличаются от соответствующих степенных кривых для линейной и радиальной моделей. При $L/a \rightarrow 0$ гидрографы притока с треугольных в плане бассейнов стока секторного типа стремятся к некоторой асимптоте, которая приближенно описывается кривой 1 на рис. 4.

Для треугольных в плане бассейнов обратного типа получена симметрия безразмерных гидрографов притока относительно центрального соотношения $L/c=1$, то есть идентичными является гидрографы для соотношений $L/c=2$ и $0,5$, $L/c=10$ и $0,1$ и т.д. Все безразмерные гидрографы имеют вид S-образных кривых (рис. 5).

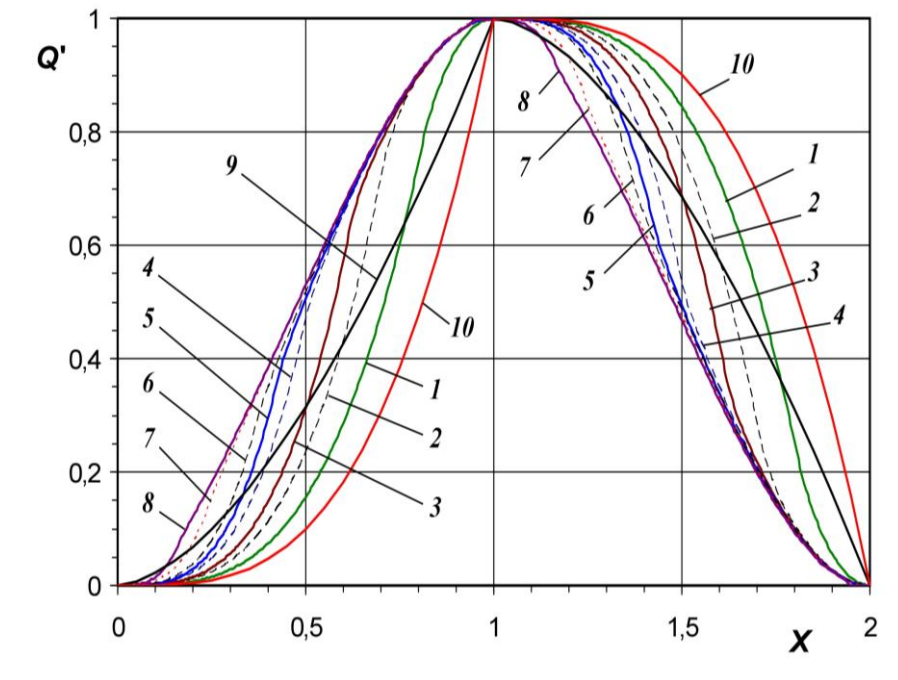
Гидрограф притока из обратного треугольного в плане бассейна стока с соотношением сторон $L/c=1$ занимает промежуточное положение между гидрографом для линейной и радиальной моделей (рис. 5). При больших ($L/c \geq 10$) и соответственно малых ($L/c \leq 0,1$) значениях геометрического соотношения L/c гидрографы притока приближаются к некоторой асимптоте, которая представлена на рис. 5 кривой 8.



1 – $L/a=0,2$; 2 – $L/a=0,25$; 3 – $L/a=1/3$; 4 – $L/a=0,5$; 5 – $L/a=2/3$; 6 – $L/a=1$; 7 – $L/a=1,5$; 8 – $L/a=2$; 9 – $L/a=3$;
10 – линейные в плане бассейны стока; 11 – радиальные в плане бассейны стока

Рис. 4. Безразмерные гидрографы притока дождевых сточных вод из треугольных в плане бассейнов стока секторного типа ($n=0,71$)

Fig. 4. Dimensionless stormwater hydrographs from sector-type triangular catchments ($n=0.71$)



1 – $L/c=1$; 2 – $L/c=1,5$; 3 – $L/c=2$; 4 – $L/c=3$; 5 – $L/c=4$; 6 – $L/c=5$; 7 – $L/c=10$; 8 – $L/c=20$;
9 – линейные в плане бассейны стока; 10 – радиальные в плане бассейны стока

Рис. 5. Безразмерные гидрографы притока дождевых сточных вод из треугольных в плане бассейнов стока обратного типа ($n=0,71$)

Fig. 5. Dimensionless stormwater hydrographs from reverse triangular catchments ($n=0.71$)

Сравнение безразмерных гидрографов притока для треугольных бассейнов секторного и обратного типа при одинаковых малых соотношениях длины и ширины ($L/a=L/c \leq 0,2$) показывает, что они очень несущественно отличаются друг от друга, что отображает факт постепенного сближения этих форм при малых значениях соотношений L/a и L/c .

ВЫВОДЫ

В работе представлены результаты теоретических исследований влияния формы в плане малых урбанизированных бассейнов стока на гидрографы притока дождевых сточных вод, полученные с использованием секторного метода расчета гидрографов поверхностного стока.

Получены обобщенные гидрографы в безразмерных координатах для бассейнов трех простейших типичных конфигураций в плане: прямоугольной, треугольной формы секторного типа и треугольной формы обратного типа. Бассейны стока более сложной конфигурации с достаточной точностью можно представить как сумму двух или более типичных бассейнов.

Показано, что безразмерные гидрографы с малых урбанизированных бассейнов типичных

конфигураций являются автомодельными по площади бассейна стока F , коэффициенту стока Ψ_{mid} , интенсивности q_{20} , продольному уклону i_0 и по коэффициенту шероховатости n_1 . Форма безразмерных гидрографов стока определяется формой бассейна стока в плане, соотношением длин его сторон, а также показателем степени n в степенном законе, описывающем зависимость граничной интенсивности выпадения дождя от его продолжительности.

Получены и проанализированы безразмерные гидрографы для малых урбанизированных бассейнов типичных конфигураций (рис. 3–5) при $n=0,71$, подтверждающие важность учета формы бассейна стока в плане на динамику притока дождевых сточных вод во времени.

Результаты работы могут быть применены для усовершенствования методов гидравлического расчета емкостных регулирующих сооружений дождевого стока при обустройстве точечных схем поверхностного водоотведения с урбанизированных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dziopak J., 1992. Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników

- kanalizacyjnych / Kraków: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografia 125 – 214.
2. Guo J., 2001. Rational hydrograph method for small urban watersheds / ASCE J. of Hydrologic Engineering – Vol. 6, N 4. - 352–356.
 3. Guo J., 2006. Storm-water predictions by dimensionless unit hydrograph / ASCE J. of Irrigation and Drainage Engineering. – Vol. 132, N 4. - 410–417.
 4. Kaźmierczak B., Kotowski A., 2012. Weryfikacja przepustowości kanalizacji deszczowej w modelowaniu hydrodynamicznym / Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – Wrocław. – 143.
 5. Osmulka-Mróz B., Fidała-Szoje M., Kierzenkowska M., 1984. Obliczeniowe a rzeczywiste natężenia przepływów w kanalizacji deszczowej / Ochrona Środowiska. – N 434/3–4 (20–21), 29–32.
 6. Overton D., Meadows M., 1976. Stormwater modeling / Academic Press. New York, NY. – 58–88.
 7. Sherman L., 1932. Streamflow from rainfall by the unit graph method. / Eng. News Rec. – V.108. - 501–505.
 8. Urban hydrology for small watersheds. 1986. / United States Department of Agriculture. Technical Release 55, 210-VI-TR-55, 2 ed. – 164.
 9. Yen B., Chow V., 1980. Design hydrographs for small drainage structures / ASCE J. of the Hydraulics Division – N106 (HY6).
 10. Zhuk V., Matlay I., Boshota V., 2009. Time of concentration for linear watersheds with various slope for the rains of constant intensity / Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej "Budownictwo i Inżynieria Środowiska" – Rzeszów. – z. 54. - 135–138.
 11. Zoppou C., 1999. Review of storm water models. CSIRO Land and Water, Canberra ACT, Australia / Technical Report 52/99. – 64.
 12. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України – 2013, 128.
 13. Жук В., Матлай І., 2012. Гідрографи притоку дощових стічних вод з прямокутних в плані урбанізованих басейнів стоку для дощів постійної в часі інтенсивності / Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник – К.: КНУБА – Вип. 19. - 31–38.
 14. Жук В., Вовк Л., 2004. Гідрографи притоку поверхневих стічних вод при різних моделях концентрації стоку / Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – Львів: В-во НУ "ЛП" – № 506. - 105–113.
 15. Жук В., Вовк Л., 2005. Радіальна модель концентрації дощових стічних вод / Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник – К.: КНУБА. – Вип. 4. - 84–96.
 16. Жук В., Матлай І., 2011. Розрахункова витрата дощових стічних вод для лінійних в плані басейнів стоку з постійним поздовжнім похилом / Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". "Теорія і практика будівництва". – Львів: В-во НУ "ЛП" – № 697. - 97–103.
 17. Жук В., 2010. Теоретичні гідрографи притоку для дощів постійної в часі інтенсивності при змінній швидкості течії / Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. – К.: КНУБА. – Вип. 15. - 119–130.
 18. Калицун В., 1987. Водоотводящие сети и сооружения. – М.: Стройиздат. – 336.
 19. Матлай І., Жук В., Саницький М., 2012. Розрахункова витрата та час концентрації дощового стоку з радіальних у плані басейнів з постійним поздовжнім похилом / Науковий вісник Національного лісотехнічного унів. України – Львів: НЛТУ – Вип. 22.1. - 119–125.
 20. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. 1990. Учеб. пособие для вузов / В. Дикаревский, А. Курганов, А. Нечаев, М. Алексеев. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние. – 224.
 21. Ткачук С., Жук В., 2012. Регулювання дощового стоку в системах водовідведення: монографія / Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 216.
 22. Эпоян С., Карагяур А., Паболков В., 2013. Выбор фильтрующей загрузки для многослойных фильтров с горизонтальным направлением фильтрации / Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Vol.15, No. 6. - 11–18.

INFLUENCE OF THE SMALL URBANIZED CATCHMENT'S CONFIGURATION ON THE STORMWATER HYDROGRAPHS

Summary. The results of theoretical studies of the influence of the configuration of small urbanized catchments on the stormwater hydrographs are obtained using the sectoral method of calculation of surface runoff. The results can be applied to improve the methods of calculating the storage volume of the stormwater regulating facilities for point schemes of the stormwater drainage in urbanized areas.

Key words: stormwater hydrograph, stormwater runoff, urbanized area, catchment.

СОДЕРЖАНИЕ

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. ХАРЬКОВА Дмитрий Гончаренко, Алевтина Алейникова, Ефим Клейн	3
ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ОСВЕТЛЯЮЩЕЙ ЦЕНТРИФУГИ И УСТАНОВКИ МЕМБРАННОЙ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ Степан Эпоян, Андрей Карагяур, Светлана Бабенко, Анна Голубка	11
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕВИТАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ Владимир Савйовский, Андрей Броневицкий, Елена Каржинерова	19
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА Александр Редько, Юрий Пивненко	27
КОМПЛЕКСНОЕ РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ Дмитрий Гончаренко, Сергей Забелин, Виктория Лихограй	35
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ Степан Эпоян, Юрий Штонда, Алексей Зубко, Сергей Шаляпин, Татьяна Шаляпина, Ирина Штонда	46
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ЯБЛОЧНОГО СОКА Виктор Ковальчук, Александр Ковальчук	53
ОЧИСТКА ВЫБРОСОВ ОТ КОКСОВЫХ ПЕЧЕЙ С ПОМОЩЬЮ СКРУББЕРА НАСАДОЧНОГО ТИПА Александр Редько, Юрий Чайка, Юрий Бурда	62
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗРУШЕННОГО КОЛЛЕКТОРА В ХАРЬКОВЕ Дмитрий Гончаренко, Дмитрий Бондаренко, Алексей Гармаш	69
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ СТОЧНЫХ ВОД И АКТИВНОГО ИЛА НА ВЫХОДЕ ИЗ АЭРОТЕНКА Стелла Горносталь, Елена Петухова, Тамара Айрапетян	77
ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД Степан Эпоян, Сергей Мовчан	85
НАДЕЖНОСТЬ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ Александр Матяш, Валерий Новохатний, Сергей Костенко	95
К ВОПРОСУ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ Виктор Сопов, Лариса Клевцова, Алина Баяк	103
ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ МАЛЫХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ БАССЕЙНОВ СТОКА НА ГИДРОГРАФЫ ПРИТОКА ДОЖДЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД Владимир Жук	111

List of the Reviewers

1. Капцов Иван (Kapzov Ivan)
2. Сизова Наталья (Sizova Nataliya)
3. Эпоян Степан (Eroyan Stepan)
4. Редько Александр (Redko Alexander)
5. Сопов Виктор (Sopov Victor)
6. Черкасова Екатерина (Cherkasova Ekaterina)
7. Гончаренко Дмитрий (Goncharenko Dmitry)

Editors of the “MOTROL” magazine of the Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as “ICM”. Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the “ICM Internet Platform”, which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the “MOTROL” on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the “Agro” database.

We are pleased to announce that the magazine “MOTROL – Motorization and Energetics in Agriculture” (ISSN 1730-8658) has undergone a positive evaluation of the IC Journals Master List 2013, the result of which is granting the ICV Index (Index Copernicus Value) 6.56 pts. The resulting score was calculated on the basis of a survey submitted by the Editorial Team as well as assessments made by the professionals from Index Copernicus. We invite you to familiarize yourself with the methodology of IC Journals Master List evaluation:

<http://journals.indexcopernicus.com/masterlist.php?q=motrol>

Impact factor of the “MOTROL” journal according of the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 1,285 (March 2015).

GUIDELINES FOR AUTHORS (2015)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 8 pages) should not exceed 12 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for reproduction of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 12 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,5 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
- SI units should be used.

Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail
Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions

Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No nomenclature (all explanations placed in the text); References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text. Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (Table1).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures – the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), (% m³m⁻³) or (% gg⁻¹), Thermal conductivity (W m⁻¹K⁻¹).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. 1).

Colour figures will not be printed.

Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged alphabetically by the name of the first author and then others, e.g.

7. Kasaja O., Azarevich G. and Bannel A.N. 2009. Econometric Analysis of Banking Financial Results in Poland. Journal of Academy of Business and Economics (JABE), Vol. IV. Nr 1, 202–210.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Polish).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (1). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.