

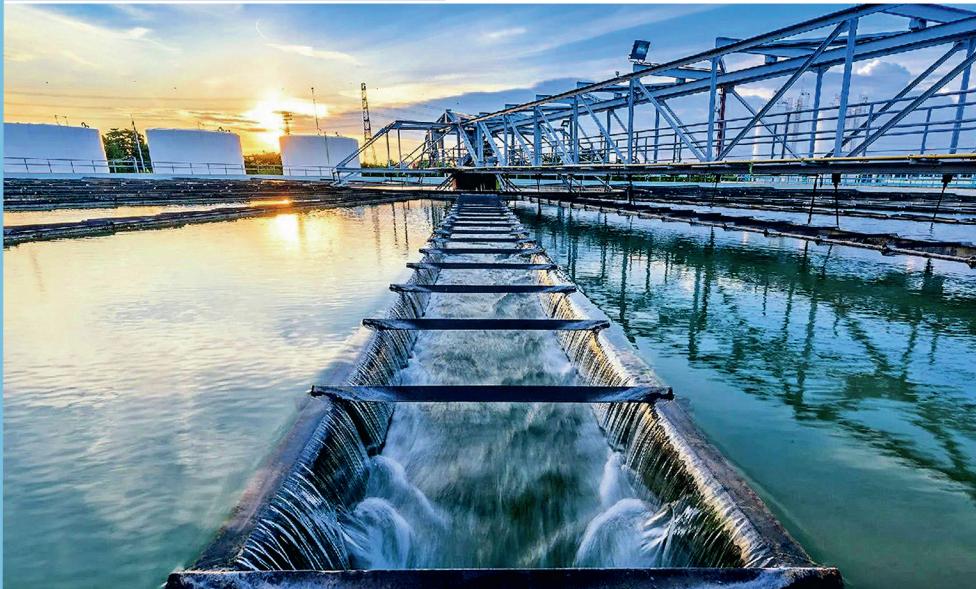
ISSN 2617-1848



СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (26) март 2024



НАШИ ПАРТНЕРЫ:



Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства ДНР



Министерство образования
и науки ДНР

ОБУЧАЮЩИЕСЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПОЛИГОНА ДОННАСА ДЕЛАЮТ ПЕРВЫЕ УСПЕШНЫЕ ШАГИ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Для обучающихся Инженерного полигона (ИП) при Донбасской национальной академии строительства и архитектуры была организована очная образовательная экскурсия на кафедру информационных систем и технологий (ИСТ) в ДОННАСА. Это мероприятие посетили учащиеся инженерных классов из СШ № 15 города Макеевки, с которой академией был заключён договор о сетевой форме реализации образовательных программ.

После выступления руководителя Инженерного полигона (ИП), **Надежды Анатольевны Галибиной**, которая поприветствовала школьников, рассказала об основных возможностях ИП и представила лекторов, перед детьми выступила заведующая кафедрой ИСТ, кандидат физико-математических наук **Ольга Викторовна Котова**.

Ольга Викторовна рассказала обучающимся ИП о том, какие возможности открываются благодаря робототехнике, продемонстрировала некоторые компьютерные программы, регулирующие действия различных устройств и механизмов.

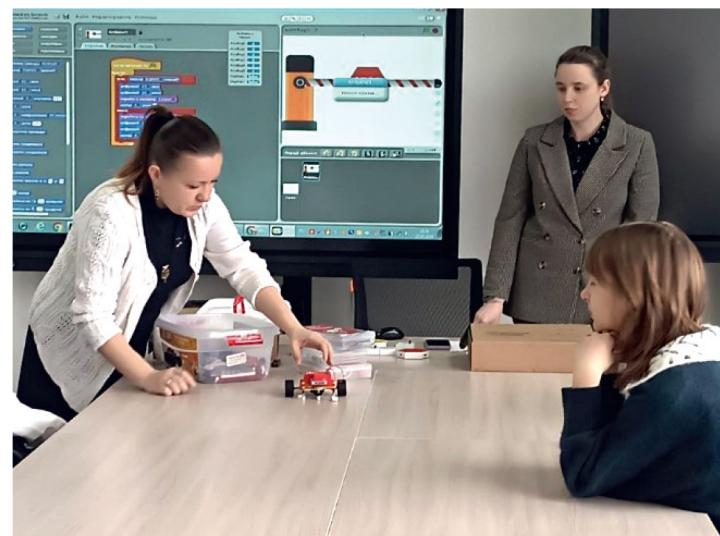
Кроме того, лектор познакомила школьников с иммерсивными технологиями. С помощью погружения в виртуальный мир обучающиеся ИП смогли увидеть синхронную работу светофора и его виртуального аналога на экране интерактивной доски.

Далее детям была продемонстрирована аналогичная синхронная работа автоматического шлагбаума и его виртуального аналога, а также программа, с помощью которой это устройство было запрограммировано.

После этого Ольга Викторовна наглядно показала возможности собранной преподавателями кафедры ИСТ модели снегоуборочной машины.

Далее была организована командная работа школьников по сбору и программированию различных механизмов и устройств, а помогала и консультировала ребят ассистент кафедры ИСТ, **Юлия Витальевна Сухинина**.

Начав с простейших логических схем «Умный дом», благодаря поддержке преподавателей кафедры ИСТ Сухининой Ю. В., Котовой О. В. и Жмыховой Т. В., дети собрали и запрограммировали модульный конструктор робота, который реагировал на звук, тепло, магнит и движение, приближаясь или избегая преграды.



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор	Н.М. ЗАЙЧЕНКО, д. т. н., профессор
Зам. главного редактора (научный редактор)	В.Ф. МУЩАНОВ, д. т. н., профессор
Выпускающий редактор	Н.Х. ДМИТРИЕВА
Ответственный редактор	Б.В. КЛЯУС

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ФГБОУ ВО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики

АДРЕС РЕДАКЦИИ

Российской Федерации, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2 ФГБОУ ВО «ДОННАСА» Web: strdon.donnasa.ru. Электронная почта: strdon@dennasa.ru Контактный телефон: +7 (949) 363-74-63

Печатается по решению Ученого Совета ФГБОУ ВО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ» Протокол № 7 от 26.02.2024

Перепечатка, копирование и воспроизведение всех материалов журнала возможны только с письменного разрешения редакционной коллегии

«Свободная цена»

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77 – 86363 от 17.11.2023 выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Приказом МОН ДНР № 99 от 17.01.2020 г. журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Подписано в печать 25.03.2024.. Формат 60 x 90^{1/8}.
Бум. мелов. Усл. печ. л. 3,22. Тираж 300 экз. Заказ № 7.

Отпечатано ИП Дмитриев С.Г. Регистрация в РФ 17.02.2023 г.
286156, г. Макеевка, м-н Зеленый, 76/66.

№ 1(26),
Март 2024 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Агеев В.Г. – ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», РФ
2. Андрийчук Н.Д. – ФГБОУ ВО ЛНР «ЛНУ им. Даля», РФ
3. Башевая Т.С. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
4. Бенаи Х.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
5. Беспалов В.Л. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
6. Большаков А.Г. – ИрНИТУ, РФ
7. Братчун В.И. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
8. Броханов А.М. – ГУ МакНИИ, РФ
9. Гайворонский Е.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
10. Горожанкин С.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
11. Горохов Е.В. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
12. Дмитренко Е.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
13. Долженков А.Ф. – ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», РФ
14. Дрозд Г.Я. – ФГБОУ ВО ЛНР «ЛНУ им. Даля», РФ
15. Зайченко Н.М. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
16. Иванов М.Ф. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
17. Левченко В.Н. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
18. Лобов И.М. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
19. Лукьянов А.В. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
20. Мамаев В.В. – ГБУ «НИИ «Респиратор» МЧС ДНР», РФ
21. Мищенко Н.И. – ФГБОУ ВО «ДОННТУ», РФ
22. Мущанов В.Ф. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
23. Нагаева З.С. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
24. Назим Я.В. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
25. Найманов А.Я. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
26. Насонкина Н.Г. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
27. Нездоминов В.И. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
28. Нечепаев В.Г. – ФГБОУ ВО «ДОННТУ», РФ
29. Олексюк А.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
30. Пенчук В.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
31. Петраков А.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
32. Пушкарёва Н.А. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
33. Радионов Т.В. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
34. Рожков В.С. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
35. Савенков Н.В. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
36. Севка В.Г. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
37. Семченков Л.В. – МИНСТРОЙ ДНР, РФ
38. Сердюк А.И. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
39. Сторожев В.И. – ФГБОУ ВО «ДонГУ», РФ
40. Тищенко В.П. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
41. Удовиченко З.В. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
42. Шаленный В.Т. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
43. Шеина С.Г. – ФГБОУ ВО «ДГТУ», РФ
44. Шолух Н.В. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ
45. Югов А.М. – ФГБОУ ВО «ДОННАСА», РФ

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ
КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

- В. Н. Левченко, С. Н. Маштaler**
ПОВРЕЖДЕНИЯ И АВАРИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ.....4

- В. Н. Левченко, Е. О. Брыжатая, В. П. Попова,
М. В. Баклыков**
УЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ
ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ
КОРРОЗИЙНОЙ СТОЙКОСТИ.....10

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

- С. Е. Гулько, Н. Г. Насонкина, Д. Г. Соколов,
С. Е. Антоненко, В. С. Забурдаев**
ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТХОДОВ ТЭС
(НА ДОНБАССЕ)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ
ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

- С. И. Мовчан**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ
В ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД
ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.....22

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ
ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

- В. Н. Качан, А. В. Лукьянин, Д. Э. Рыбак**
АЛГОРИТМ (ТЕОРИЯ) РАСЧЕТА
ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.....30

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-
КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

- И. В. Сычева, Д. О. Карнаух, С. А. Лозицкий,
К. Э. Мотузенко**
УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-
СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

S U M M A R Y

V. N. Levchenko, S. N. Mashtaler

DAMAGE AND ACCIDENTS OF BUILDING STRUCTURES AND ITS IMPACT ON THE DURABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES

An analysis of various failures and accidents of building structures showed that many of them would not have occurred with a rational organization of the design of work and operation of building structures. At the same time, a review of accidents and damages that have occurred allows us to draw up some practical recommendations for improving design solutions and technological processes of construction production.

The article presents the main measures and schemes, where it is possible to eliminate the probabilistic occurrence of cases of failure and accidents of structures, and also reflects special attention to the combined impact of wear and sudden failures. In addition, it has been established that the pattern of occurrence of sudden or gradual failures, as well as the likelihood of their joint impact on the structure, can be established with sufficient reliability as a result of statistical processing of extensive experimental data.

*V. N. Levchenko, E. O. Bryzhataya, V. P. Popova,
M. V. Baklykov*

OPERATING COSTS WITH CHOOSING OPTIMAL
SOLUTIONS FOR BUILDING STRUCTURES TAKING
INTO ACCOUNT CORROSION RESISTANCE

The durability of buildings and structures, assessed by economic calculations, is carried out through operating costs. The choice of one or another design gets according to the minimum reduced costs, taking into account the costs of renovation, depreciation, and costs of current repairs. The article presents a method for determining operating costs.

The methodology for determining the economic efficiency of anti-corrosion protection of building structures based on the achievements of economic science in the field of developing methods for assessing the effectiveness of capital investments and new equipment.

Issues related to the economic assessment of design solutions for construction projects are not reflected properly in regulatory documents. That is why we need to create guidelines for economic assessment, volumetric planning and design solutions.

Among the developed guidelines, it is worth noting the guidelines for assessing design solutions for industrial buildings and structures, developed by NIIES with the participation of other organizations. At the same time, studies were carried out in the economics laboratory of the Research Institute of Reinforced Concrete Structures to determine the economic efficiency of anti-corrosion protection of building structures, the result of which was the "Guide to determining the economic efficiency of anti-corrosion protection of building structures of industrial buildings and structures".

*S. E. Gulko, N. G. Nasonkina, D. G. Sokolov,
S. E. Antonenko, V. S. Zaburdaev*

WAYS TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF WASTE FROM THERMAL POWER PLANTS
(IN DONBASS)

SUMMARY

This article presents the thermal power plant's waste environmental impact analysis. Using the example of the Zuevskaya TPP, the conditions for the formation of waste, their mineral composition, and qualitative and quantitative indicators studied. It has been shown that ash dumps occupy large areas, they are constantly generating dust, and mobile forms of waste are washed away by sediments. There is a negative impact of dumps on the atmosphere, lithosphere and biosphere, including the human body. Disposal of thermal and energy waste has important environmental, economic and energy-saving significance. Among the components of aluminosilicate, those of practical interest are iron-containing magnetic concentrate, secondary coal, microsphere, inert mass of aluminosilicate composition and heavy fraction. A technological scheme for extracting microspheres and related components from fly ash of the Zuevskaya TPP has been developed, taking into account the provision of a closed water recycling system. Extracting useful components from waste materials, followed by their disposal according to the proposed scheme, frees up occupied space and reduces the negative impact on the environment.

S. I. Movchan

THE USE OF REAGENTS IN THE TECHNOLOGY OF GALVANIC PRODUCTION'S WASTEWATER TREATMENT

The article discusses the use of reagents used in water treatment technology in the treatment of wastewater from galvanic production.

The main areas of use of process reagents are highlighted: coagulation, neutralization and chemical precipitation, in local water treatment equipment, wastewater treatment systems of industrial enterprises.

The chemical components of the spent washing solution are used as reagents in a certain ratio to hexavalent chromium, providing an optimal quantitative range of each component included in the reagent.

The use of reagents included in the used cleaning solution in recycling water supply systems of industrial enterprises.

Using reagents in the water treatment technology of coagulation, neutralization and chemical precipitation processes, the composition of chemical components, the sequence of their introduction during wastewater treatment and the results of their use are optimized.

The use of wastewater's reagent treatment allows to optimize the parameters and operating modes of water treatment equipment, carry out wastewater treatment in several stages, while increasing the efficiency of wastewater, stabilizing the technical and economic indicators of the operation of water treatment equipment, reducing the amount of liquid waste generated, etc.

Among the main conclusions from the use of reagents, the following should be noted. Waste from galvanic production and/or related technologies generated in the same production is used. The efficiency of wastewater treatment with a high content of heavy ions increases. The consumption of water used in industrial water supply systems is reduced, which is the basis for the rational implementation of water management.

CONTENTS

THEORETICAL FOUNDATIONS OF RELIABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES

<i>V. N. Levchenko, S. N. Mashtaler</i>	DAMAGE AND ACCIDENTS OF BUILDING STRUCTURES AND ITS IMPACT ON THE DURABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES.....	4
---	---	---

<i>V. N. Levchenko, E. O. Bryzhataya, V. P. Popova, M. V. Baklykov</i>	OPERATING COSTS WITH CHOOSING OPTIMAL SOLUTIONS FOR BUILDING STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT CORROSION RESISTANCE	10
--	--	----

INCREASING THE RELIABILITY OF CITY ECONOMY SYSTEMS

<i>S. E. Gulko, N. G. Nasonkina, D. G. Sokolov, S. E. Antonenko, V. S. Zaburdaev</i>	THE WAYS TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF WASTE FROM THERMAL POWER PLANTS (IN DONBASS).....	15
--	--	----

INTENSIFICATION OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PROCESSES

<i>S. I. Movchan</i>	THE USE OF REAGENTS IN THE TECHNOLOGY OF GALVANIC PRODUCTION'S WASTEWATER TREATMENT	22
----------------------	---	----

OPTIMIZATION OF OPERATING MODE OF HEAT GENERATING EQUIPMENT AND HEAT SUPPLY SYSTEMS

<i>V. N. Kachan, A. V. Lukyanov, D. E. Rybak</i>	ALGORITHM (THEORY) FOR CALCULATING HEAT EXCHANGERS	30
--	--	----

CURRENT ISSUES IN THE ECONOMICS OF CONSTRUCTION AND HOUSING AND UTILITIES

<i>I. V. Sycheva, D. O. Karnauh, S. A. Lozitsky, K. E. Motuzenko</i>	MANAGEMENT OF INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS USING INFORMATION TECHNOLOGY.....	35
--	--	----

ПОВРЕЖДЕНИЯ И АВАРИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В. Н. Левченко, к.т.н., профессор; С. Н. Машталер, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «ДОННАСА», г. Макеевка

Аннотация. Анализ различных отказов и аварий строительных конструкций показал, что многие из них не произошли бы при рациональной организации проектирования производства работ и эксплуатации строительных конструкций. В то же время обзор произошедших аварий и повреждений позволяет составить некоторые практические рекомендации по совершенствованию проектных решений и технологических процессов строительного производства.

В статье приведены основные мероприятия и схемы, при которых возможно исключение вероятностного появления случаев отказа и аварий конструкций, а также отражено особое внимание совместному воздействию износных и внезапных отказов. Кроме того, установлено, что закономерность возникновения внезапных или постепенных отказов, а также вероятность их совместного воздействия на конструкцию могут быть с достаточной достоверностью установлены в результате статистической обработки обширных экспериментальных данных.

Ключевые слова: коррозия, безотказность, вероятность, надежность, деформация.



Левченко
Виктор Николаевич

Изучение причин повреждений и аварий строительных конструкций всегда привлекает внимание ряда научно-исследовательских организаций и отдельных авторов. Систематические исследования в этой области проводились в Центральном научно-исследовательском институте строительных конструкций (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко) под руководством А. А. Шишкина. В этой области широко известны труды А. Н. Шкинева [8], И. А. Физделя [6] и других специалистов. Из иностранных авторов следует отметить Ролта-Хэммонда [4] и Томаса Х. Мак Кейга [5].

Приведенные в указанных работах результаты научных исследований и описание аварий и повреждений не позволяют вывести строгие математические закономерности внезапных и постепенных отказов, так как пока еще отсутствует единая научно обоснованная методика накопления и обработки экспериментальных статистических данных. Тем не менее, анализ причин известных аварий и повреждений позволяет составить некоторые практические рекомендации по совершенствованию проектных решений и технологических процессов строительного производства. Если отбросить иногда встречающиеся грубые ошибки, то главными причинами возникновения внезапных или износных отказов следует считать: по линии проектирования – недостаточно точный учет конкретных производственных и эксплуатационных условий; по линии производства – несовершенство организаций технического контроля качества и авторского надзора за соблюдением проектных решений.

Из материалов А. Н. Шкинева [8] об авариях строительных конструкций видно, что отказы в работе чаще всего наступают в результате совместного воздействия нескольких причин, главными из которых следует считать: отступление от проектных решений, низкое качество исходных материалов, нарушение технических условий на производство изготавлительных и монтажных работ; особо следует отметить плохую организацию или полное отсутствие производственного контроля качества, недостаточный авторский и технический надзор.

Внезапные отказы сборных железобетонных конструкций чаще всего происходят из-за неправильной постановки монтажных связей, чрезмерных отклонений в сопряжениях элементов, нарушений технологии при выполнении стыков. Постепенные отказы вызываются коррозией металла стыковых соединений и бетона элементов, образованием трещин, пустот и недостаточной толщиной защитного слоя.

Аварии кирпичных зданий объясняются главным образом несоблюдением правил производства работ в зимнее время и наличием недопустимых размерных отклонений в местах опирания элементов перекрытий на столбы или стены.



Машталер
Сергей Николаевич

Томас Х. Мак Кейг [5] описывает серию аварий, произошедших в результате воздействия нескольких причин, которые в конечном итоге сводятся к грубым нарушениям правил производства работ и отступлением от проектных решений. В ряде примеров автор указывает на социальные причины некоторых аварий. Погоня подрядчиков за прибылью и стремление любой ценой снизить стоимость строительства приводят иногда к недопустимому уменьшению расчетных сечений несущих конструкций, размеров фундаментов и экономии на техническом надзоре.

Изучение аварий показывает, что многие из них не произошли бы при рациональной организации проектирования производства работ и эксплуатации строительных конструкций [2, 3, 7, 10].

Для этого необходимо:

- прогнозировать вероятность возникновения внезапных и постепенных отказов применительно к конкретным условиям строительства и эксплуатации зданий и сооружений, устанавливать в процессе проектирования минимальный, практически допустимый процент риска;
- при производстве изготавильных строительно-монтажных работ организовать активный производственный контроль качества, обеспечивающий обязательное совпадение действительных характеристик начальной безотказности строительных конструкций с проектными (теоретическими);
- организовать техническую эксплуатацию зданий и сооружений в соответствии с предъявленными к ним требованиями долговечности и ремонтопригодности.

Очевидно, что вероятностная оценка степени надежности и долговечности строительных конструкций может быть правильной только в том случае, если она будет базироваться на экспериментальных статистических данных, сбор которых следует считать одной из главных задач общегосударственной службы надежности.

Эта работа должна проводиться применительно к различным видам строительных конструкций зданий и сооружений, выполненных из различных материалов, примерно по следующей схеме [1, 7]:

1. Анализ проектных решений и оценка теоретических характеристик надежности (начальной безотказности, долговечности и ремонтопригодности). Определение проектного процента риска возникновения внезапных и износовых отказов.

2. Накопление экспериментальных данных о действительных физико-механических и геометрических характеристиках качества элементов и конструкций в процессе осуществления пооперационного производственного контроля за ходом технологических процессов производства.

3. Сбор экспериментальных данных об интенсивности воздействия внешней среды, деформаций грунта, коррозии, старения, истираемости материалов и других факторов, влияющих на долговечность элементов и конструкций, а также об изменчивости эксплуатационных нагрузок.

Особое внимание должно быть уделено совместному воздействию износовых и внезапных отказов [2]. При длительном износе элементов строительных конструкций их расчетные характеристики могут настолько уменьшиться, что конструкция перестанет удовлетворять требованиям безотказности. Запас прочности, установленный с учетом требований долговечности, будет поглощен износом, и конструкция приблизится к предельному состоянию. Может оказаться, что эксплуатационные нагрузки или климатические воздействия (ветер, снег) достигнут в это время наибольшей величины, и тогда наступит авария.

Закономерность возникновения внезапных или постепенных отказов, а также вероятность их совместного воздействия на конструкцию могут быть с достаточной достоверностью установлены в результате статистической обработки обширных экспериментальных данных.

На основе уже известных теоретических положений и полученных экспериментальных данных может быть высказана гипотеза, вероятность возникновения внезапных отказов, являющихся следствием изменчивости физико-механических и геометрических характеристик качества и внешних нагрузок, описывается законом нормального распределения. Интенсивность постепенных износов элементов строительных конструкций, чаще всего зависящая от воздействия какого-либо одного фактора, подчиняется экспоненциальному закону [3].

Причиной выхода сооружения из строя обычно является либо строительный дефект, либо перенапряжение конструктивных элементов вследствие увеличения усилий, вызванных различными факторами: перегрузкой, вынужденными температурными деформациями, коррозией, перераспределением усилий в связи с деформациями основания, а также между отдельными элементами вследствие усадки и ползучести.

В начальный период работы сооружения, когда его элементы находятся в состоянии приработки, часто выявляются неисправности и дефекты, вызванные недостатками производства работ или проектирования.

Понятие разрушения строительных элементов здания или сооружения как конечного изменения их состояния можно рассматривать под углом зрения достижения дефектами и повреждениями предельных величин.

Поскольку реальная окружающая среда подвержена изменениям в течение жизненного цикла конструкций, то и фактические сроки службы не являются стабильными. Через дефекты и повреждения обеспечивается обратная связь от сооружения к нормам проектирования, что способствует их совершенствованию.

Один из наиболее развиваемых подходов к изучению долговечности существующих железобетонных конструкций реализуется на основе экспертной оценки параметров эксплуатационного состояния сооружения: визуально или инструментально обнаруженных дефектов и повреждений

Между дефектами и повреждениями чаще всего существует связь в виде «цепной реакции»: допу-

щенные при изготовлении и монтаже дефекты могут развиваться при эксплуатации, при этом возникают новые нарушения структуры материала от воздействий окружающей среды и нагрузок [1].

Накопление повреждений при силовых воздействиях и деформации вызывается:

- *повторным действием нагрузок*, под влиянием которого нарушается структура бетона. Процесс нарушения структуры при действии сжимающих усилий начинается с образования микротрещин, направленных вдоль действия усилия и существует тенденция их дальнейшего развития вплоть до разрушения;

- *длительным действием нагрузок*, когда повреждения приводят к деструкции материала при напряжениях, превышающих предел длительной прочности $R_b(t) = (0.82 \div 0.85) R_{cr}(t)$.

Природа ползучести бетона связана с его структурой, длительным процессом кристаллизации и уменьшением количества геля при длительном твердении цементного камня. При напряжениях в бетоне предел гранич микротрецинообразования R_{cr}^o происходит уплотнение структуры, и прочность бетона повышается.

Силовые воздействия на уровне железобетонных конструкций проявляются чаще всего в виде разрушений защитного слоя, потери устойчивости сжатых элементов, наклонных и нормальных трещин, разрушения сжатой зоны бетона, образования продольных трещин и проскальзывания арматуры на торцевых участках.

В справочной, научной и нормативной литературе существуют разные взгляды на классификацию дефектов и повреждений в зависимости от типов объектов и назначения классификации.

Разнообразие и взаимодействие факторов, регулирующих долговечность железобетонных конструкций, привели к необходимости разработки общей схемы, приближенно моделирующей особенности процесса накопления повреждений и дающей более четкое представление о причинах этого феномена (рисунок 1). Общая классификация повреждений железобетонных конструкций дана по следующим признакам: причины и характер повреждений, вид воздействий, уровень изученности, форма проявления и стадия накопления. Рассмотрены повреждения, обнаруживаемые при визуальном наблюдении; скрытые и предполагаемые повреждения, выявляемые с применением методов, средств и правил. Особенностью подхода является то, что повреждения рассматриваются как внешнее или скрытое проявление необратимых процессов износа и старения.

Рекомендуемая область практического применения классификации: системы контроля за дефектами и повреждениями, накапливающимися за длительный период эксплуатации; банки данных для разработки систем экспертных оценок; управляющие системы сетевого уровня для поддержания и ремонта железобетонных конструкций. При анализе причин и подготовке схем ранжирования повреждений железобетонных конструкций обычно используются данные институтов ЦНИИпромзданий, Харьковского ЦНИИпромстройпроекта, МГСУ, НИИЖБ.

Классификация основных повреждений железобетонных конструкций по их внешнему проявлению дана в таблице 1.

К эксплуатационному износу отнесены повреждения, накопившиеся за время межремонтных периодов эксплуатации, а также нарушения приемов техобслуживания, профилактического или капитального ремонта.

В перечень конструктивных дефектов включены дефекты, возникшие на разных этапах воздействия и разработки конструкций в результате недостаточной информации, нарушений стандартов и строительных правил, неосознанных ошибок, а также вследствие длительных перерывов в строительстве без надлежащей консервации.

Оценка надежности как степени физического износа железобетонных конструкций, пригодности сооружений к эксплуатации, сроков и вида ремонтов выражается через оценку технического состояния эксплуатируемого сооружения и его элементов, выполняемую путем натурных обследований, поверочных расчетов и пробных испытаний (рис.2 и таблица 2) [3].



Рис. 1. Общая классификация повреждений железобетонных конструкций

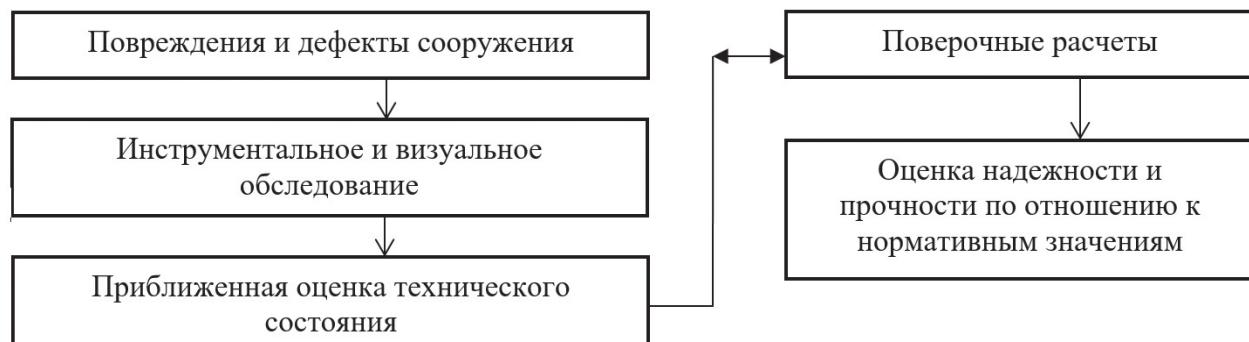


Рис. 2. Схема оценки надежности по внешним признакам или изменению технического состояния конструкций

Таблица 1.

Классификация необратимых процессов по их внешнему проявлению

Характер процесса	Вид повреждения	Разновидности повреждений
Объемный	Разрушение	Нарушение сцепления бетона и арматуры; разрыв арматурных стержней; сквозные вертикальные трещины большой протяженности; чрезмерное раскрытие горизонтальных и наклонных трещин; «хлопающие» трещины.
	Деформация	Значительные деформации элементов: осадка или крен сооружения; выпучивание домкратных стержней.
	Изменение свойств материала или конструкции	Снижение плотности и прочности бетона на 20 % и более; изменение структуры бетона и пластических свойств арматуры при циклических нагрузлениях; трещинообразование.
Поверхностный	Коррозия	Пласти, потеки и другие коррозионные разрушения бетона; скрытые дефекты и нарушение защитного слоя, вызывающие коррозию арматуры.
	Изменение свойств поверхностного слоя	Повреждение вследствие внешних воздействий на бетон; изменение шероховатости; разрушение бетона вследствие отслоений, раковин, каверн; трещины в торкретном или поверхностном слое.
	Износ	Повреждения бетона, вызванные механическими ударами или в результате истирающего действия сыпучих материалов для емкостных сооружений; усталость поверхностных слоев

Техническое обследование инженерных сооружений производится с целью получить фактические данные о размерах, прочности и повреждениях конструкций, которые необходимы при разработке проектов усиления; выяснения причин повреждений и аварий, а также для оценки остаточной несущей способности железобетонных конструкций. При этом отражается влияние длительной эксплуатации (машикоцикловые нагрузки, внешние среды, длительность воздействий) на показатели надежности.

Основные этапы технического обслуживания: сбор и анализ проектной документации; обследование визуальными и инструментальными методами, длительное наблюдение и измерение для определения характера развития деформаций во времени, испытания пробной нагрузкой.

Оценка технического состояния с использованием классификации повреждений производится по категориям технических состояний на основании инструментальных и визуальных обследований [3].

Практические и теоретические аспекты накопления повреждений в строительных конструкциях освещены в работах [4, 5, 6, 7, 8].

Потеря эксплуатационных качеств железобетонных элементов инженерных сооружений из-за необратимого накопления повреждений проявляется на всех

этапах их работы до наступления отказа. Снижение этих качеств на уровне конструкции выражается в форме снижения ее несущей способности, приращения прогибов, дополнительного раскрытия существующих трещин и появления новых трещин. После наступления отказа железобетонная конструкция снижает работоспособность и не в состоянии воспринимать в полном объеме рабочие нагрузки от давления сыпучего материала или жидкости.

Если допустить, что фактический срок службы подчиняется закону нормального распределения и интенсивность износа в течение срока службы постоянна, то закон сохранения во времени железобетонных конструкций (величина, обратная износу) может быть выражен как;

$$\nu = e^{-\alpha t} \quad (1)$$

где α – опытный коэффициент, принимающий ориентировочные значения 0,003-0,005;

t – время (в годах).

В предположении экспоненциального закона и при цепной схеме накопления повреждений железобетонных конструкций приближенная величина относительной надежности конструкций при эксплуатации $y = \gamma/\gamma_0$ и величина этих повреждений $\varepsilon = 1 - y$ через t_F лет эксплуатации может быть найдена по формуле:

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

где $\lambda = \frac{\ln}{t_f}$ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования; y – фактический коэффициент надежности конструкций с учетом имеющихся повреждений; $y = \gamma/\gamma_0$ – относительная надежность, определяемая по категориям технического состояния конструкций в зависимости от ее повреждений; t_f – срок эксплуатации конструкций к моменту обследования.

Значения y и ε для различных категорий технического состояния даны в таблице 3. Преобразуя (2), получим выражение для определения эксплуатации конструкции в годах с начала эксплуатации:

$$t = \frac{\ln y}{\lambda} = \frac{\ln(\gamma/\gamma_0)}{\lambda} \quad (3)$$

Тогда срок эксплуатации до капитального ремонта и срок наступления аварийного состояния в годах с начала эксплуатации выразятся соответственно как:

$$t = \frac{0,162}{\lambda} \quad (4)$$

$$t = \frac{0,43}{\lambda} \quad (5)$$

Таблица 2.

Категория технического состояния

Категории технического состояния	Описание технического состояния	Относительная надежность $y = \gamma/\gamma_0$	Поврежденность $\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t}$
1	2	3	4
1	Исправное (нормальное): повреждения отсутствуют	1	0
2	Удовлетворительное: незначительное снижение несущей способности	0,95	0,05
3	Неисправное: несущая способность снижена, требуется средний ремонт	0,85	0,15
4	Недопустимое: непригодность конструкции к эксплуатации	0,75	0,25
5	Аварийное: немедленная разгрузка конструкции	0,65	0,35

Недостатком данного детерминированного подхода является условность относительной надежности и приближенность ее величины из-за неполного учета возможных вариаций входящих в него коэффициентов надежности, предопределенности закона ее изменения и фиксированного значения λ ; область применения ограничена оценкой только эксплуатируемых конструкций и не может быть использована

при прогнозировании ресурса на стадии их проектирования; за пределами оценки остаются скрытые формы повреждений.

В наиболее простой форме изменение эксплуатационного качества конструкции вплоть до выхода ее из строя, то есть отказа, вследствие постепенного развития повреждений может быть выражено через уравнение накапливания повреждений;

$$\Delta(t) \leq \Delta_{lim} \quad (6)$$

где $\Delta(t); \Delta_{lim}$ – соответственно текущее значение и предельная величина повреждений.

В реальных условиях эксплуатации конструктивные элементы инженерных сооружений подвергаются некоторым воздействиям в различной последовательности или одновременно. Вследствие этого возрастают скорости деградационных процессов и интенсивность накопления повреждений. В теоретическом плане влияние нескольких факторов может быть учтено введением многофакторной меры повреждений D , принимаемой априорно D , [9]:

$$D = \frac{\Delta(\chi_1, \dots, \chi_j; \sigma; t)}{\Delta_k - \Delta_o}, \quad (7)$$

где Δ_o – значение меры повреждений в начальный период эксплуатации $t = 0$; Δ_k – конечное значение меры накапливаемых повреждений; $\Delta(\chi_1, \dots, \chi_j; \sigma; t)$ – текущее значение меры в момент наступления отказа в течение времени t в зависимости от величины напряжений, переменных факторов режима нагружения и условий эксплуатации $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_j$.

ВЫВОДЫ

Вероятностная оценка степени надежности и долговечности строительных конструкций может быть правильной лишь в том случае, если она будет базироваться на экспериментальных статистических данных, сбор которых осуществляется по следующей схеме:

- анализ проектных решений и оценка теоретических характеристик надежности;

- определение проектного процента риска возникновения внезапных и износных отказов;

- накопление экспериментальных данных о действительных физико-механических и геометрических характеристиках качеств элементов и конструкций;

- сбор экспериментальных данных об интенсивности воздействия внешней среды, деформаций грунта, коррозии, старения, истираемости материалов и других факторов, влияющих на долговечность элементов и конструкций, а также об изменчивости эксплуатационных нагрузок.

Список литературы

1. Калинин, В. М. Оценка технического состояния зданий и сооружений. Учебник. ИНФРА / В. М. Калинин, С. Д. Сокова. – Москва: 2009. – 267 с. – Текст: непосредственный.

2. Левченко, В. Н. Анализ методов оценки технического состояния и методология экономических обоснований повышения долговечности строительных конструкций при реконструкции зданий и сооружений. Учебное пособие / В. Н. Левченко, С. Н. Машталер. – Макеевка. 2021. – 272 с. – Текст: непосредственный.
3. Пухонто, Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений. Издательство АСВ. – Москва: 2004. – 435 с. – Текст: непосредственный.
4. Ролт Хеммонт. Аварии зданий. – Москва: Стройиздат. 1980. – 127 с. – Текст: непосредственный.
5. Томас Х. Мак Кейг. Строительные аварии. – Москва Стройиздат. – 1967. – 205 с. – Текст: непосредственный.
6. Физдель, И. А. Дефекты бетонных и каменных сооружений и методы их устранения. – Москва: Стройиздат. 1983. – 96 с. – Текст: непосредственный.
7. ЦНИИСК им. Кучеренко В. А. Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций. (Методы восстановления и усовершенствования). – Москва: Стройиздат. 1985. – 117 с. – Текст: непосредственный.
8. Щипинев, А. М. Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения и ликвидации. Изд. 2-е – Москва: Стройиздат. 1976. – 308 с. – Текст: непосредственный.
9. Чирков, В. П. Основы теории расчета ресурса железобетонных конструкций //Бетон и железобетон/. – 1990. – № 10, с. 15-17.
10. Брыжатый, О. Э. Влияние состояния узловых сопряжений сборных конструкций на работу элементов каркаса многоэтажного здания [Электронный ресурс] / О. Э. Брыжатый, Э. П. Брыжатый // Строитель Донбасса. – 2021. № 2 (15), 2021 – С. 15-19. – Режим доступа: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/sd/2021/sd_2021-2\(15\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/sd/2021/sd_2021-2(15).pdf).

УЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ КОРРОЗИЙНОЙ СТОЙКОСТИ

В. Н. Левченко, к.т.н., профессор; Е. О. Брыжатая, к.т.н.; В. П. Попова; М. В. Баклыков
ФГБОУ ВО «ДОННАСА», г. Макеевка

Аннотация. Долговечность зданий и сооружений при её оценке экономическими расчетами осуществляется через эксплуатационные затраты. Выбор той или иной конструкции производится по минимальным приведенным затратам, учитывая затраты на реновацию, амортизационные отчисления, затраты на текущий ремонт. В статье приведена методика определения эксплуатационных затрат.

Методика определения экономической эффективности антикоррозийной защиты строительных конструкций основывается на достижениях экономической науки в области разработки методов оценки эффективности капитальных вложений и новой техники.

Вопросы, связанные с экономической оценкой проектных решений строительных объектов, не нашли должного отражения в нормативных документах и поэтому возникла необходимость создания методических указаний по экономической оценке объёмно-планировочных и конструктивных решений.

Из разработанных методических указаний следует отметить указания по оценке проектных решений промышленных зданий и сооружений, разработанные НИИЭС с участием других организаций. К тому же времени относятся проведенные в лаборатории экономики НИИЖБ исследования по определению экономической эффективности антикоррозийной защиты строительных конструкций, результатом которых явилось «Руководство по определению экономической эффективности антикоррозийной защиты строительных конструкций промышленных зданий и сооружений [5, 6].

Ключевые слова: долговечность, амортизация, реновация, эксплуатационные затраты, окупаемость.



Левченко
Виктор Николаевич



Брыжатая
Екатерина Олеговна



Попова
Валентина Петровна



Баклыков
Максим Владимирович

Проведенные в НИИЖБ исследования по обобщению опыта применения методических указаний и руководства в экономических расчетах позволили выявить ряд теоретических недостатков в отдельных методических положениях и формулах, особенно в части учета различной долговечности строительных конструкций и эксплуатационных затрат.

Например, при расчете полных приведенных затрат по сравниваемым вариантам проектных решений рекомендовалось среднегодовые эксплуатационные затраты учитывать за расчетный срок окупаемости капитальных вложений. При этом не указывался порядок определения среднегодовых эксплуатационных затрат и нарушался рекомендованный ранее принцип приведения разновременных затрат к началу базисного года.

При сопоставлении строительных материалов и конструкций с различными сроками службы отступали от установленного ранее положения о подсчете полных приведенных затрат по каждому из сравниваемых вариантов и рекомендовали определять затраты за срок службы более долговечного варианта конструкции, а не за срок службы здания, конструкции которого сравниваются.

Приведенные сравнительные расчеты экономической эффективности вариантов антикоррозионной защиты железобетонных плит покрытий различными лакокрасочными материалами показали, что при использовании бывшей методики СН 423-71 вариант

защиты, обладающий большим сроком службы и обеспечивающий повышение долговечности конструкции, оказался экономически неэффективным. В то же время сравнительный расчет тех же вариантов защиты по разработанному НИИЖБ Руководству приводит к логическому результату: экономическому эффекту 4 200 руб. на 1 м² для более долговечного покрытия.

Следует попутно отметить, что принятая в других более поздних методических материалах НИИЭС и ЦНИИПромзданий ошибочная методика определения среднегодовых эксплуатационных затрат на текущие и капитальные ремонты исходила из сметной стоимости здания или конструкции «в деле» с использованием нормы амортизации основных фондов, что также приводило к отрицательным результатам в случаях, когда первоначальная стоимость здания (конструкции) повышенной долговечности была больше, чем начальная стоимость варианта с меньшей долговечностью.

При оценке эффективности противокоррозионной защиты строительных конструкций с использованием достижений науки и техники необходимо учитывать совокупные народнохозяйственные приведенные затраты в сферах разработки, создания и эксплуатации строительных объектов. Основные принципы определения интегрального (кумулятивного) экономического эффекта обоснованы в трудах А. Л. Лурье, В. В. Новожилова, Т. С. Хачатурова, В. Т. Красовского и других русских ученых-экономистов.

Опыт применения отраслевых методик указывает на необходимость разрешения остающихся спорными методическими вопросов и создания единой типовой методики определения экономической эффективности капитальных вложений новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.

Однако следует иметь в виду, что типовая методика должна содержать основные методические положений, так как она не может учитывать всех особенностей отраслей народного хозяйства, создания и эксплуатации отдельных видов новой техники и основных фондов.

В связи с указанным рассмотрим более подробно некоторые теоретические положения, которые имеют особое значение при оценке народнохозяйственной эффективности повышения коррозионной стойкости строительных материалов и долговечности конструкций производственных зданий и сооружений, эксплуатируемых в агрессивных средах [1, 2].

Для оценки экономической эффективности повышения стойкости строительных материалов и долговечности конструкций, т. е. свойств, проявляемых на стадии эксплуатации зданий и сооружений, особую роль приобретает приведение разновременных затрат по фактору времени.

Понятие «долговечность» неприменимо к материалам, а «срок службы» – к изделиям и конструкциям, так как материалы обладают стойкостью к различным воздействиям, а строительные конструкции – долговечностью. При этом срок службы для несущих строительных конструкций равен сроку службы здания или сооружения, элементами кото-

рого они являются. Самые конструкции могут капитально ремонтироваться в течение срока службы (функционирования) строительного объекта.

При рассмотрении вопроса об учете долговечности строительных конструкций при экономическом сравнении вариантов предлагается определять затраты на капитальный ремонт основных конструкций зданий умножением себестоимости в деле на коэффициент $g = 1,2$. Это обосновывается повышением затрат на заработную плату при замене эксплуатируемой конструкции в сравнении с ее стоимостью при новом строительстве. Однако авторы не учитывают, что при капитальном ремонте здания не все основные конструкции заменяются – часть из них усиливается в той или иной степени в зависимости от результатов обследования технического состояния конструкций [4].

Рекомендуется затраты на текущий ремонт конструкций принимать в размере 50 % затрат на капитальный ремонт. При этом одновременно отмечается, что фактические затраты на текущий ремонт основных конструкций каменных зданий, по отчетным данным ряда европейских стран, составляют 30 % затрат на капитальный ремонт. Эксплуатационные затраты, связанные с проведением капитальных и текущих ремонтов, рассматриваются как среднегодовые расходы. Н. М. Лихтарников, Н. С. Летников, В. Н. Левченко [3] рекомендуют принимать среднегодовую величину суммарных эксплуатационных затрат на текущие и капитальные ремонты по формуле:

$$C_3 = 1,35 \cdot \frac{C_{k,0}}{T_{kp}}, \quad (1)$$

где $C_{k,0}$ – стоимость конструкции «в деле»; T_{kp} – периодичность осуществления капитального ремонта.

Размер же экономии при эксплуатации определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_3 = \frac{C_{31} - C_{32}}{P_2 + E_H}, \quad (2)$$

Таким образом, эксплуатационные расходы рассматриваются как среднегодовые и практически учитываются за срок окупаемости капитальных вложений $t = \frac{1}{E_H}$, так как величина P_2 для основных несущих строительных конструкций составляет 0,01 – 0,0125 (при сроке службы 80 – 100 лет) и не оказывает существенного влияния на знаменатель в формуле [2].

Покажем сказанное на примере определения эксплуатационных затрат на капитальные ремонты строительных конструкций и приведения этих затрат к началу расчетного года.

В первом случае рассмотрим среднегодовые затраты на капитальный ремонт, которые равны стоимости одного капитального ремонта, деленного на периодичность капитальных ремонтов $C_{k,0}/T_{kp}$, а затем приведем их значение к началу эксплуатации делением на коэффициент приведения

$$\alpha = (1 + E)^t, \quad (3)$$

где t – годы от 1 до T_{kp} ;

E – норматив приведения разновременных затрат. Соответствующие расчеты для первичности капитального ремонта от 10 до 60 лет приведены в табл. 1.

Для второго случая рассмотрим стоимость капитальных ремонтов C_{kp} , проводимых в течение срока службы здания T_c (от 30 до 100 лет) с периодичностью $T_{kp} = 10 - 60$ лет.

В зависимости от количества капитальных ремонтов за срок службы здания T_c , стоимость ремонтов C_{kp} приводится к началу эксплуатации умножением на коэффициент

$$\frac{1}{\alpha_t} = \frac{1}{(1+E)t}, \quad (4)$$

где t — годы проведения капитальных ремонтов с периодичностью T_{kp} .

Значения коэффициента приведения разновременных затрат $\alpha_t = (1+E)^t$.

Таблица 1.

**Результаты расчетов
для первичности капитального ремонта**

Время между моментом осуществления затрат и моментом приведения t , годы	Значения α_t для приведения затрат, осуществляемых до начала эксплуатации здания или сооружения, при E	
	0,08	0,10
1	1,08	1,10
2	1,17	1,21
3	1,26	1,33
4	1,36	1,46
5	1,47	1,61
6	1,59	1,77
7	1,71	1,95

При этом суммарный коэффициент приведения

$$\mu_{kp} = \sum_{t=1}^{\gamma_{kp}-1} \frac{1}{(1+E)t}, \text{ где } \gamma_{kp} - 1 = \frac{T_c}{T_{kp}} - 1, \quad (5)$$

По результатам проведенных расчетов на рис. 1 изображен график зависимости приведенных по фактору времени затрат на капитальные ремонты ($C_{kp} \cdot \mu_{kp}$) при двух различных методических подходах [2].

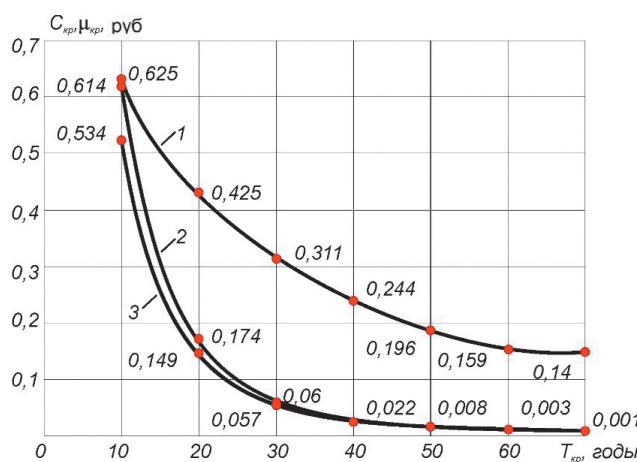


Рис. 1. Изменение приведенных затрат на капитальные ремонты в зависимости от способа их приведения к началу эксплуатации производственных зданий по фактору времени и периодичности проведения ремонтов (T_{kp})

Таким образом, из рис. 1 следует, что для большинства строительных конструкций с межремонтными сроками службы 20-40 лет разница в величине приведенных затрат составляет от 2,5 до 10 раз. Если учесть, что принятый в первом случае прием определения среднегодовых затрат на капитальные ремонты является искусственным и не соответствует практике эксплуатации производственных зданий (капитальные ремонты конструкций никогда не проводятся ежегодно), то принятый в материалах НИИЖБ-81 способ учитывает экономические преимущества повышения долговечности конструкций и создает предпосылки для нахождения оптимальных межремонтных сроков службы основных строительных конструкций.

Особенностями эксплуатации строительных конструкций в агрессивных промышленных средах является необходимость возобновлений защитных покрытий с соблюдением определенной последовательности, а также учета возможных потерь от простоя размещенного в производственном здании технологического оборудования.

Срок службы зданий зависит от многих факторов, но в первую очередь определяется физико-механическими свойствами строительных конструкций и материалов. Кроме износа физического, когда конструкция приходит в негодность под воздействием агрессивных агентов среды, существует понятие морального снашивания конструкций и зданий. Оба они начинают проявлять себя сразу после сдачи объекта в эксплуатацию.

Учет фактора долговечности конструкций и зданий в экономических расчетах возможен через эксплуатационные затраты, которые идут на восстановление их первоначальной стоимости и поддержание потребительских свойств на уровне исходных кондиций.

Выбор той или иной конструкции из серии взаимозаменяемых часто сводится к выявлению суммы приведенных затрат. Экономически эффективной считается конструкция, суммарные приведенные затраты на которую оказываются минимальными $\Sigma C_{np} \rightarrow \min$.

На самом деле взаимозаменяемые конструкции не характеризуются одинаковой долговечностью. Как правило, они потому и сравниваются, что представляют собой элементы, материальная природа которых довольно различна [7].

Издержки в сфере эксплуатации слагаются из амортизационных отчислений на реновацию, капитальный и текущий ремонт. Суммарные эксплуатационные затраты прямо зависят от сроков службы тех или иных конструкций в различных условиях их работы. Главным образом это относится к конструкциям из новых строительных материалов.

Б. М. Колотилкин [4] систематизировал материал по проблеме долговечности жилых зданий на опыте бывшего СССР и большинства европейских стран.

Обобщение результатов названных исследований, а также других работ по долговечности конструкций и зданий позволяет принять за ориентировочные следующие сроки службы конструкций жилых и общественных зданий (таблица 2).

Располагая данными о сроке службы той или иной конструкции, годовые отчисления на ее реновацию в рублях (C_p) определяются по формуле:

$$C_p = \sum C_g + C_l T_{cl}, \quad (6)$$

где $\sum C_g$ – себестоимость конструкции в деле (сумма себестоимостей: производства, транспорта, укладки в дело), руб.;

C_l – ликвидационная часть себестоимости конструкций, руб.;

T_{cl} – срок службы конструкции в годах.

Правомерным будет ликвидационную часть себестоимости при определении годовых отчислений на реновацию не учитывать. Тогда формула (1) примет вид:

$$C_p = \sum C_g + Q_1, \quad (7)$$

где Q – коэффициент изменения стоимости работ.

Таблица 2.

Ориентировочные сроки службы конструкций жилых и общественных зданий

Наименование конструкций	Ориентировочная долговечность в годах
A. Фундаменты	
Железобетонные и бетонные	
а) на тяжелых заполнителях	120
б) на искусственных пористых заполнителях	100
Бутобетонные и бутовые	120
Б. Перекрытия	
Железобетонные	
а) на тяжелых и искусственных пористых заполнителях	150
б) из плотного силикатобетона	60
в) из ячеистого бетона	50
В. Стены наружные (внутренние) из:	
сплошного глиняного кирпича со штукатуркой и расшивкой	100
сплошного и пустотелого глиняного кирпича с облицовкой фасадов силикатным кирпичом	70
керамзитобетонных и аглопористобетонных блоков и панелей	100
трехслойных панелей с минераловатным утеплителем	100
силикатобетонных панелей	80
газобетонных блоков и панелей	35

Стоимость затрат на замену конструкции при капитальном ремонте здания, как правило, выше стоимости ее нового строительства. Увеличение стоимости при замене конструкции по сравнению с новым строительством определяется в основном повышением затрат на заработную плату. Сопоставляя размер затрат на заработную плату, на новое строительство и ремонтные работы по одноименным конструкциям, в среднем можно принять $q = 1,2$ [5].

Учет затрат на капитальный ремонт правомерен для зданий с элементами конструктивно неодинаково долговечными. Фактические затраты на текущий ремонт правомерен для зданий по отчетным данным крупных строительных организаций составляют 30 % от затрат на капитальный ремонт. Затраты на текущий ремонт конструкций (C_p) для приближенных расчетов рекомендуется принимать в размере 50 % от затрат на капитальный ремонт.

В случаях неучета затрат на капитальный ремонт в экономических расчетах годовые отчисления на текущий ремонт можно принимать в размере 50 % от отчисления на реновацию, т.е. $C_m = 0,5 C_p$. Полные среднегодовые эксплуатационные расходы на конструкцию (C_e) рассчитываются по формуле:

$$C_e = C_p + C_k + C_m \quad (8)$$

Эксплуатационные расходы, рассчитанные по формуле (3), будут иметь отличную от приведенных затрат размерность. Соизмерение этих категорий затрат рекомендуется производить через нормативный срок окупаемости, равный для жилищного хозяйства 10 годам. Тогда суммарные приведенные затраты на строительную конструкцию в деле определяются выражением:

$$\sum C_{np} = \sum C + \sum E_n K + 10 C_e, \quad (9)$$

где $\sum C_{np}$ – себестоимость производства, транспорта и укладки конструкции в дело, руб.;

$\sum E_n K$ – коэффициент эффективности и удельные капитальные затраты, руб.;

C_e – полные среднегодовые эксплуатационные расходы на конструкцию, руб.

При экономической оценке строительных конструкций учет эксплуатационных затрат очень важен, так как позволяет избежать ошибки в выборе той или иной конструкции из серии взаимозаменяемых [6].

ВЫВОДЫ

Учитывая эксплуатационные расходы на конструкцию в сумме приведенных затрат, можно с большей полнотой выявить народнохозяйственные издержки и дать сравниваемым конструкциям более объективную экономическую оценку. Экономические исследования эксплуатационных затрат и потеря от коррозии наиболее целесообразно выполнять в периоды проведения специализированными организациями обследований технического состояния строительных конструкций, подверженных воздействию агрессивных сред.

Список литературы

1. Левченко, В. Н. Анализ экономической эффективности проектирования строительных конструкций зданий и сооружений с учетом их надежности : учебное пособие [Текст] / В. Н. Левченко, С. Н. Машталер, А. В. Недорезов. – Макеевка : [б. и.], 2020. – 268 с.
2. Левченко, В. Н. Анализ методов оценки технического состояния и методология экономических обоснований повышения долговечности строительных конструкций при реконструкции зданий и сооружений: учебное пособие [Текст] / В. Н. Левченко, С. Н. Машталер. – Макеевка : [б. и.], 2021. – 272 с. – Текст : непосредственный.
3. Лихтарников, Я. М. Технико-экономические основы проектирования строительных конструкций. Учебное пособие [Текст] / Н. С. Летников, В. Н. Левченко. – Киев – Донецк: Вища школа, 1980. – 239 с.
4. Колотилкин, Б. М. Проблемы долговечности и надежности зданий [Текст] / Б. М. Колотилкин. – Москва : Знание, 1969. – 46 с.
5. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций, промышленных зданий и сооружений [Текст] / Харьковский Промстройпроект. – Москва : Стройиздат, 1990. – 176 с.
6. Руководство по определению экономической эффективности повышения качества и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении [Текст] / Харьковский Промстройпроект. – Москва : Стройиздат, 1990. – 176 с.
7. Economic effect of metallic corrosion in the United States. Part I [Текст] / L. H. Bennett, J. Kruger, R. L. Parker [et al.] // A report to the Congress by the National Bureau of Standards. – Washington : National Bureau of Standards, 1978. – № 511/1. – 72 p.
8. Левченко, В. Н. Методика измерения показателей материоемкости строительства и технико-экономические показатели ее снижения [Текст] / В. Н. Левченко, С. Н. Машталер, А. С. Волков [и др.] // Строитель Донбасса. 2023. № 3(24). С. 37-42.
9. Левченко, В. Н. Методика технико-экономической оценки рационального применения конструкций в промышленных зданиях и сооружениях [Текст] / В. Н. Левченко, Е. О. Брыжатая, О. Э. Брыжатый // Экономика строительства и городского хозяйства. 2023. ТОМ 19, № 2. С. 61-71.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТХОДОВ ТЭС (НА ДОНБАССЕ)

С. Е. Гулько, д.т.н., профессор^a; **Н. Г. Насонкина**, д.т.н., профессор^b; **Д. Г. Соколов**^b;

С. Е. Антоненко, к.т.н., доцент^b; **В. С. Забурдаев**^b

^aДонгипрошахт, г. Донецк, ^bФГБОУ ВО «ДОННАСА», г. Макеевка

Аннотация: представлен анализ экологического воздействия отходов ТЭС на окружающую среду. На примере Зуевской ТЭС изучены условия формирования отходов, их минеральный состав, качественно-количественные показатели. Показано, что золоотвалы занимают большие территории, они постоянно пылят, а подвижные формы отходов вымываются осадками. Отмечается отрицательное воздействие отвалов на атмосферу, литосферу и биосферу, в том числе и на организм человека. Утилизация теплоэнергетических отходов имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение. Из составляющих ЗШО практический интерес представляют железосодержащий магнитный концентрат, вторичный уголь, микросфера, инертная масса алюмосиликатного состава и тяжелая фракция. Разработана технологическая схема извлечения микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса Зуевской ТЭС с учетом обеспечения замкнутой системы оборотного водоснабжения. Извлечение полезных компонентов из ЗШО, с последующей их утилизацией по предложенной схеме позволяет освободить занимаемые площади и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: микросфера, зола, отходы, отвалы, шлак, золошлаковая смесь, теплоэлектростанции



**Гулько
Сергей Евгеньевич**



**Насонкина
Надежда Геннадьевна**



**Соколов
Дмитрий Геннадьевич**



**Антоненко
Светлана Евгеньевна**



**Забурдаев
Вячеслав Семенович**

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Утилизация и захоронение отходов относятся к одной из основных экологических проблем во всем мире. Основным источником отходов в России являются топливная промышленность (4 365 тыс. т) и энергетика (5 898 тыс. т) [1, 2]. Результаты многолетних мониторинговых исследований свидетельствуют о существенной экологической опасности зон складирования отходов энергетического комплекса. Например, только из терриконов в атмосферу Донбасса выбрасывается свыше 65 тыс. т/год вредных веществ. При сбросе 55 млн. м³ шахтных вод в реки поступает 200 тыс. т растворенных солей. Большое количество растворенных соединений способствует сдвигу их межфазного распределения и становится основной причиной возникновения экологического риска.

Теплоэлектростанции, являясь необъемлемой частью энергетического комплекса, также относятся к основным источникам загрязнения окружающей среды. Процесс сжигания топлива на ТЭС сопровождается образованием золошлаковых отходов (далее ЗШО). Общее количество золы и шлака в золоотвалах России превышает 1,5 млрд. т, а площадь, занимаемая отвалами, – 220 км² [3, 4]. Для российских угольных энергоблоков, наряду со значительными величинами выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, характерен низкий уровень технологий улавливания и хранения золы и шлака. Уровень выбросов в энергетическом комплексе превышает европейские нормы в 50 раз [1-6].

Золоотвалы постоянно пылят, а подвижные формы отходов вымываются осадками, загрязняя окружающую среду. Утилизация теплоэнергетических отходов имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение.

Из составляющих ЗШО практический интерес представляют железосодержащий магнитный концентрат, вторичный уголь, микросфера, инертная масса алюмосиликатного состава и тяжелая фракция. Зола содержит почти все существующие в природе элементы, главными из которых являются кремний, алюминий, железо, кальций, калий и титан. Многочисленные исследования [3,4, 7, 9-17] свидетельствуют о положительных результатах по извлечению ценных компонентов, в том числе и микросферы. На сегодняшний день в мировой практике известно пять направлений по переработке ЗШО [7, 8] (рис.1).

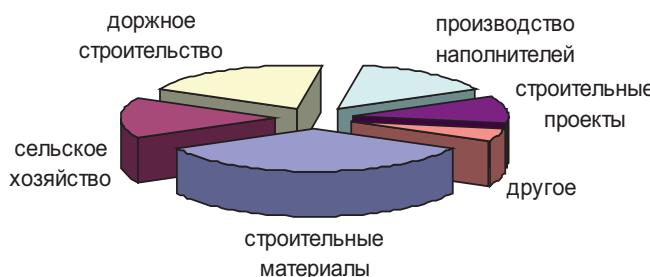


Рис. 1. Основные направления переработки ЗШО

Зола богата оксидом алюминия, ее можно использовать как потенциальный заменитель бокситов. Впервые алюминий стали извлекать из отходов горения угля в 1950 г. в Польше [4]. Сегодня в стране производят 10 тыс. т алюминия и 100 тыс. т цемента. В Китае в 2012 году на крупнейшей электростанции мира был запущен масштабный проект Tuoketuo. Завод производит 240 млн. т оксида алюминия и 200 млн. т силиката кальция, что полностью перекрывает потребность страны в металле [18].

В Европе увеличение объемов переработки ЗШО началось с введением директив, регулирующих выбросы угольной промышленности. Самые известные стандарты – IPPC, LCPD, IED. В 2010 году страны Тихоокеанского региона также создали ассоциацию угольной золы. Лидером переработки зольных отходов сегодня является Индия, на территории которой перерабатывается до 30 млн. т ежегодно [1, 3]. В европейских странах перерабатывается от 70 до 100 % общего количества золошлакоотходов [3- 6]. Высокий уровень утилизации ЗШО обеспечивается широким внедрением технологий комплексной переработки отходов ТЭЦ.

Для выделения микросферы на действующих ТЭС Российской Федерации используются [3, 7-11] следующие схемы: а) извлечения микросферы с поверхности золоотвалов; б) выделение микросферы из пульпы золы уноса; в) улавливания сухой золы уноса с дальнейшим использованием в строительной промышленности; г) переработка микросферы из золоотвала с производством товарной микросферы на специализированных предприятиях и д) комбинированная схема извлечения микросферы. Степень использования ЗШО по стране не превышает 10 % [3, 4]. Сложившаяся ситуация предопределяет необходимость более широкого внедрения переработки ЗШО на территории России с учетом экологической и социальной безопасности. В связи с этим возникает необходимость проведения мониторинга объектов теплоэнергетики. Это позволит выявлять и

оценивать уровни риска, спрогнозировать динамику и скорость развития техногенной ситуации и своевременно разработать мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование состава золы уноса на примере «Зуевской» ТЭС, разработка и обоснование выбора экологически безопасной технологии выделения мицросферы из золы уноса ТЭС и оценка возможности ее использования.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Топливно-энергетический комплекс Донбасса представлен предприятиями по добыче, обогащению и генерации электроэнергии. Основным источником энергоресурсов является Донецкий угольный бассейн (рис. 2). Промышленные запасы месторождения в границах ДНР составляют 233 670,0 тыс. т коксующегося угля и 742 709,0 тыс. т энергетического угля.



Рис. 2. Схема топливно-энергетического комплекса Лонбасса

На территории Донецкой Народной Республики расположены две тепловые электростанции – «Зуевская» и «Старобешевская».

Показатели качества рядовых углей, добываемые на шахтах, не соответствуют требованиям электростанций по золе. Для обеспечения необходимого качества добываемый уголь подвергается обогащению на фабриках ЦОФ «Моспинская», ГОФ «Красная Звезда» и обогатительной установке шахты «Комсомодель Донбасса».

Топливной базой для «Зуевской» ТЭС являются угли марки Г, добываемые в Луганской Народной Республике. Для обеспечения устойчивой работы ТЭС в качестве топлива также используется шихта углей ДНР.

Существующий способ улавливания золы уноса на «Зуевской» ТЭС – сухой в электрофильтрах. Система передачи золы уноса в золоотвал – гидротранспортная в смеси со шлаком. Для всех энергоблоков «Зуевской» ТЭС выполнена гидравлическая замкнутая система золошлакоудаления с совместным внешним транспортированием золы и шлака (рис.3).

Все золошлаковые отходы «Зуевской» ТЭС складируются в отвале (рисунок 4). Золошлакоотвал расположен в балке Калмыцкой, на расстоянии 6,5 км на юго-восток от площадки «Зуевской» ТЭС. Ближайшим населенным пунктом является Шахтное, расположенное в 2 км восточнее золоотвала. Площадь, занимаемая золоотвалом, составляет около 140 га.

Золошлакоотвалы являются объектами повышенной экологической опасности за счет: пыления пляжей, фильтрации в подземные горизонты отвальной воды, обогащенной растворимыми зольными компонентами; сброса избытков осветленной воды в поверхностные водоисточники.

Влажные золошлаки, попадая в отвал, быстро слеживаются и в значительной степени теряют свои потребительские свойства. Срок службы золоотвала ограничен технической возможностью, условием надежности и экологической безопасностью. Золоотвал «Зуевской» ТЭС является очагом скопления тяжелых металлов, обладает повышенной радиоактивностью и постоянно действующим загрязнителем почвы, подземных и поверхностных водоисточников и атмосферы.

Зола и шлак быстро поддаются выветриванию. После высыхания уже при скорости ветра выше 3 м/с начинают пылить. В результате воздушных и водных миграционных процессов вокруг отвала образуются ореолы изменения геологической среды.

Наличие тонкодисперсной золы, которая складируется громадными объемами и разносится на большие расстояния благодаря сильным ветрам, способствует заболеванию людей бронхиальной астмой, аллергическим бронхитом и другими болезнями. Поэтому отвалы рекомендуется выносить за городскую черту и избегать складирования золы в больших объемах. Для этого необходимо предусматривать утилизацию отходов на каждом из предприятий.

В экосистеме теплоэнергетического комплекса наблюдаются процессы межфазного распределения. Исследования проводили на территории золошлакоотвала. Экспериментальные пробные площадки (размером 10x10 м) закладывали на берегу. Полученные данные обработаны статистически и представлены на рис. 5.

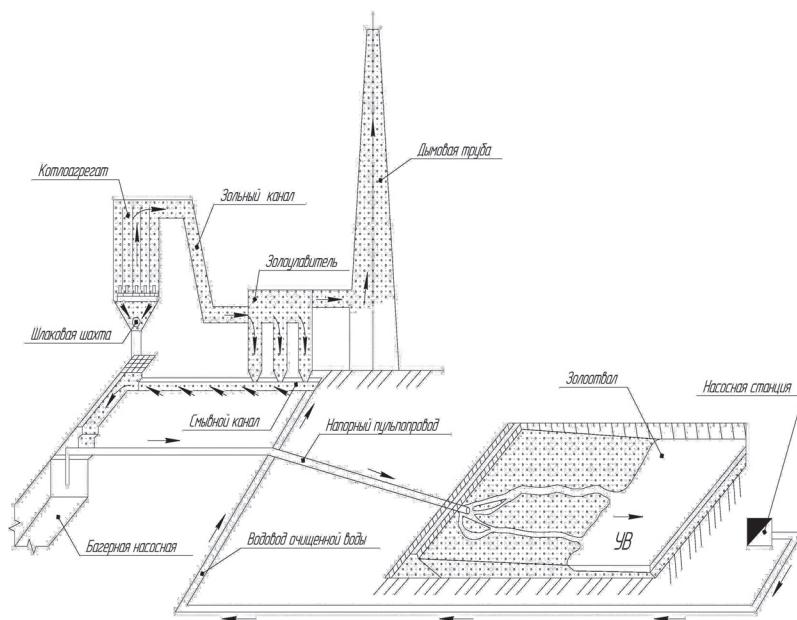


Рис. 3. Схема гидрозолоудаления на тепловой электрической станции



Рис. 4. Золошлакоотвал «Зуевской» ТЭС

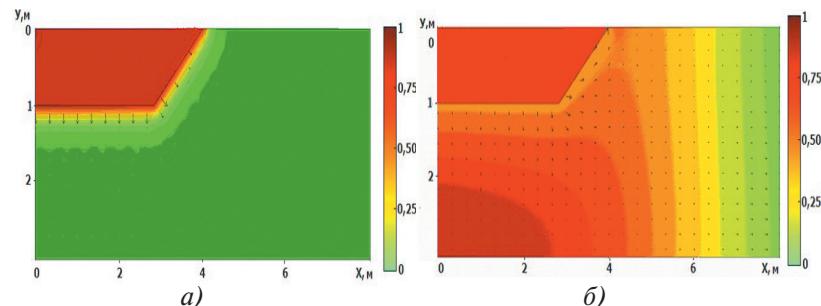


Рис 5. Изменение диффузии тяжелых металлов в исследуемой области:

- а) начальное распределение концентрации; б) конечное распределение концентрации тяжелых металлов

Распределение (рис. 5) является типичным для процесса распространения концентраций химических элементов при конвективной диффузии. Равновесное распределение тяжелых металлов подтверждает необходимость создания систем комплексной оценки уровня экологической безопасности отдель-

ных экотопов для территорий с отвалами с учетом набора локальных рисков.

Золоотвал «Зуевской» ТЭС существенно переполнен. Заполнены все свободные площадки, и он является сооружением повышенной опасности. Отвод земельных ресурсов для строительства нового золоотвала крайне затруднён. Система требует реконструкции и модернизации с учетом экологических рисков.

С целью оценки рентабельности переработки ЗШО проанализированы четыре возможных варианта обеспечения топливом «Зуевской» теплоэлектростанции: 1 – уголь марки Г; 2 – шихта угля марки Г и угля марки ОС; 3 – шихта угля марки Г и угля марки Т; 4 – уголь марки Т (таблица 1).

На основании анализа (таблица 1) минеральной части топлива «Зуевской» ТЭС содержание химических компонентов соединений SiO_2 составляет 38,0 %, Al_2O_3 – 19,77 %. По результатам работы [13] достаточное условие для образования микросферы – это соотношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ должно быть 1,6-1,8. По результатам работы [14] наиболее благоприятное для образования микросферы соотношение оксида кремния и алюминия должно находиться в пределах 2,0-2,5. Для рассмотренных вариантов соотношение составляет: 1 – 2,58, 2 – 2,02, 3 – 1,96, 4 – 1,92. Следовательно, по всем рассмотренным вариантам

в золе уноса, образующейся при сжигании топлива, соотношение химических компонентов соединений SiO_2 , Al_2O_3 является достаточным и одним из определяющих факторов для образования микросферы. Наилучший эффект достигается при использовании угля марки Т.

В ходе исследований выполнена оценка разделения золошлаковых продуктов на золу унос.

По данным работы [4], при сжигании углей газовой группы в котлоагрегатах с жидким шлакоудалением доля шлака составляет 20 %, соответственно, доля золы уноса в общем объеме шлаковых отходов составляет 80 %. Химический состав шлака и золы представлен в таблице 2.

Сравнительная характеристика химического состава золошлаковой смеси приведена в таблице 3.

На основании анализа минеральной части топлива «Зуевской» ТЭС содержание химических компонентов соединений SiO_2 составляет 38,85 %, Al_2O_3 – 18,86 %. Для образующихся отходов при сжигании шихты углей марок А и Т соотношение химических компонентов соединений SiO_2 , Al_2O_3 является достаточным для образования микросферы.

Схема извлечения микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса для «Зуевской» ТЭС рекомендуется с применением мокрых методов переработки, чтобы снизить влияние дополнительного пыления.

Таблица 1.

Приведение данных по золе уноса

Содержание, %	Содержание, %	Содержание, %	Содержание, %	Химические соединения
38,00	39,98	45,16	57,4	SiO_2
0,66	0,64	0,66	1,08	TiO_2
19,77	20,39	22,36	22,2	Al_2O_3
22,62	23,38	18,79	11,71	Fe_2O_3
=	–	–	9,47	FeO
3,80	3,49	2,46	2,64	CaO
1,37	1,28	1,99	1,99	MgO
–	–	–	–	MnO
2,00	2,03	2,33	2,25	K_2O
1,35	1,15	0,88	0,7	Na_2O
0,39	0,58	0,51	0,013	P_2O_5
3,48	2,92	1,94	0,24	SO_3
23,6	6,76	2,92	1,3	Потери при прокаливании
4	3	2	1	№ варианта

Таблица 2.

Химический состав

Содержание , %	Содержание, %	Содержание , %	Химические соединения
51,42	48,76	54,08	SiO ₂
0,7	0,35	1,05	TiO ₂
19,6	18,02	21,25	Al ₂ O ₃
12,97	12,39	13,55	Fe ₂ O ₃
2,67	1,73	3,60	CaO
1,92	2,16	1,67	MgO
3,0	2,97	3,03	K ₂ O
1,18	1,38	0,98	Na ₂ O
0,45	0,29	0,61	P ₂ O ₅
0,35	0,52	0,18	SO ₃
23,6	23,60	0,00	Потери при прокаливании
ЗШО	Зола уноса [19]	шлака [19]	примечание

Объем золошлаковых отходов приведен в таблице 4.

Выделение микросферы на действующих электростанциях Донецкой Народной Республики производится с водной поверхности золошлаковых отвалов малоэффективным немеханизированным способом. Учитывая сложившееся положение, необходимо разработать технологическую схему по выделению микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса для ТЭС ДНР.

Технологическая схема извлечения микросферы, магнетита и зольных смесей представлена мокрыми методами: гидросепарация водной суспензии золы уноса с получением микросферы; магнитная сепарация с получением магнетитового концентрата и немагнитного продукта: зольные смеси.

Технологическая схема комплексной переработки водной суспензии золы уноса приведена на рисунке 3 и представлена следующими операциями: подача водной суспензии золы уноса от насосных станций в сгуститель; гидросепарация в сгустителе водной суспензии золы уноса с получением микросферы, сгущенного продукта и слива сгустителя; перечистка микросферы с

Таблица 3.

Сравнительная характеристика химического состава золошлаковой смеси

Химические соединения	Содержание химических соединений, %	
	Золошлаковая смесь [5]	Золошлаковая смесь шихты из марок А+Т
SiO ₂	51,42	38,85
TiO ₂	0,7	0,7
Al ₂ O ₃	19,6	18,86
Fe ₂ O ₃	12,97	23,51
CaO	2,67	4,5
MgO	1,92	2,4
K ₂ O	3,0	2,3
Na ₂ O	1,18	1,2
P ₂ O ₅	0,45	0,42
SO ₃	0,35	3,86
Потери при прокаливании	23,6	15,0

получением двух продуктов: микросфера и тяжелой фракции; сушка микросферы в сушильном барабане; классификация микросферы на фракции на вибровиброгрохе; магнитная сепарация сгущенного продукта сгустителя в магнитных сепараторах с получением двух продуктов: магнетитового концентрата и немагнитного продукта; обезвоживание магнетита; обезвоживание немагнитного продукта магнитной сепарации в центрифуге с получением обезвоженных зольных смесей и фугата; смешивание обезвоженных зольных смесей со связующим (цемент); гранулирование в грануляторе с получением гранулированной золы; направление слива сгустителя, фугата центрифуг в существующую схему гидротранспорта котлотурбинного цеха.

Товарная продукция представлена: микросферой; магнетитом; гранулированной золой.

ВЫВОДЫ

Извлечение полезных компонентов из ЗОШ с последующей их утилизацией полностью позволит высвободить занимаемые площади и снизить негативное воздействие на окружающую среду, а также уменьшить энергетическими предприятиями технологические расходы на основное производство.

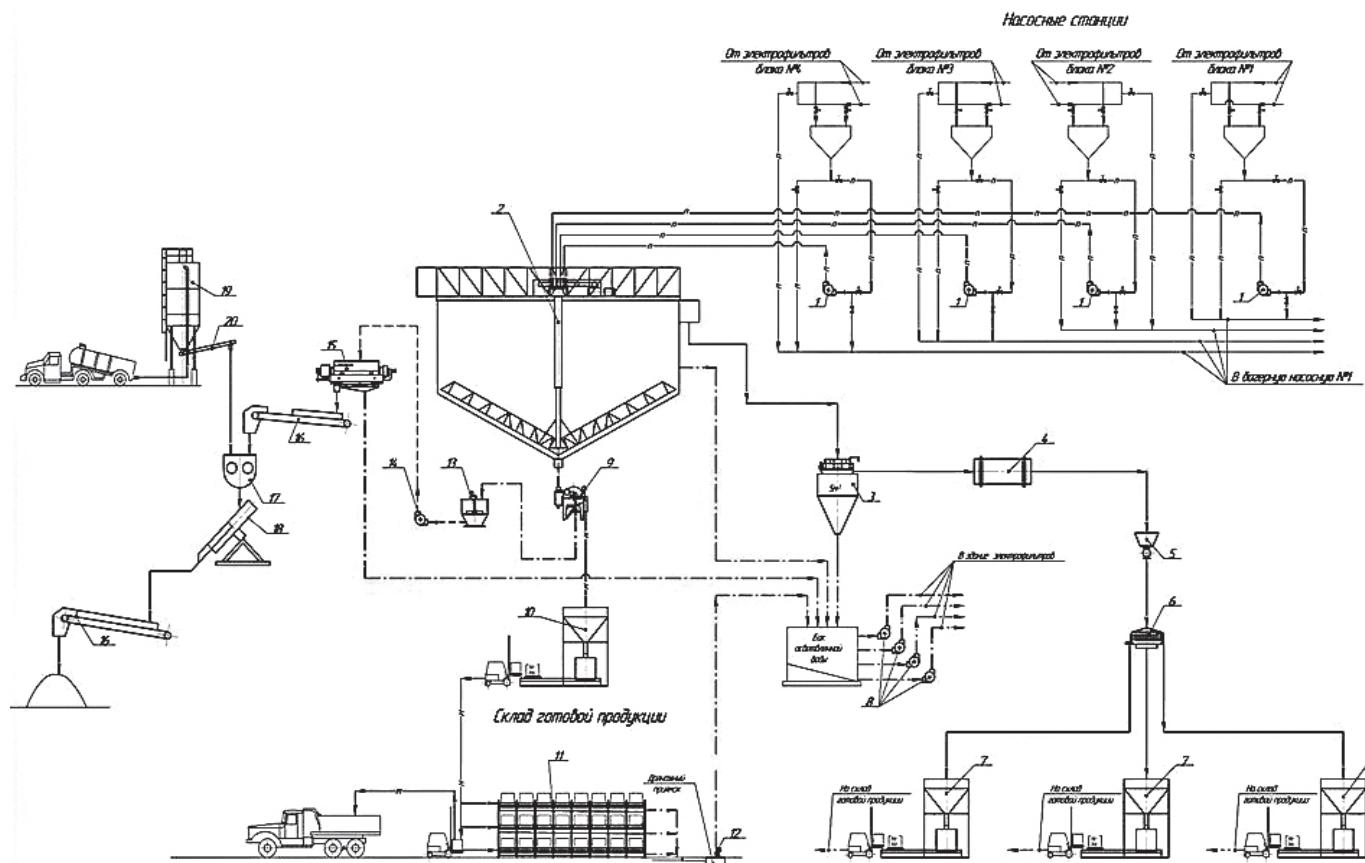


Рис. 6. Схема комплексной переработки водной суспензии золы уноса «Зуевской» ТЭС:

- 1 – насос;
- 2 – сгуститель;
- 3 – зумпф микросферы с пеносъемником;
- 4 – сушильный барабан;
- 5 – бункер-питатель;
- 6 – вибровиброгрох; 7 – фасовочная машина;
- 8 – насос;
- 9 – сепаратор;
- 10 – фасовочная машина;
- 11 – стеллаж обезвоживающий;
- 12 – насос (дренажный);
- 13 – зумпф с мешалкой;
- 14 – насос;
- 15 – центрифуга Декантер;
- 16 – конвейер ленточный;
- 17 – смеситель;
- 18 – гранулятор;
- 19 – склад цемента 32т;
- 20 – шнековый питатель

Таблица 4.
Объем золошлаковых отходов

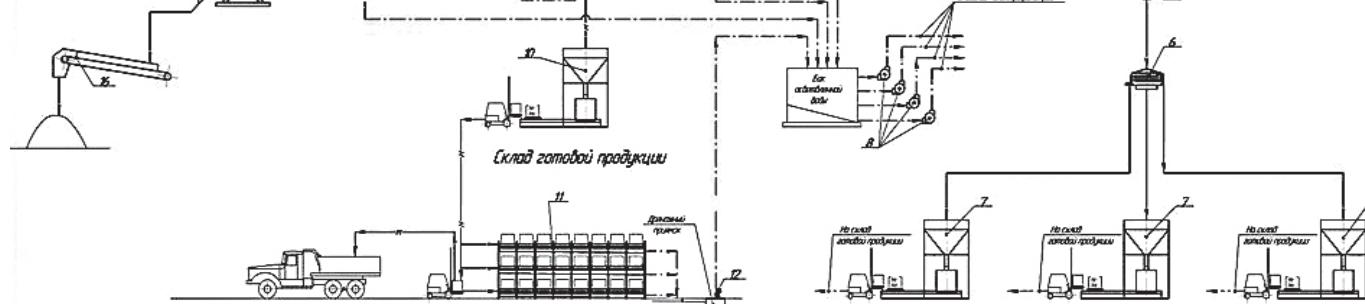
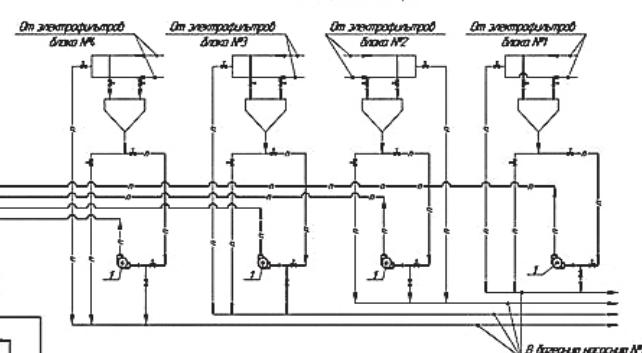
Наименование продуктов	Выход, процент	Производительность	
		т/ч	тыс. т
Золошлаковые отходы:	100,0	100,0	600,0
• зола уноса	70,0	70,0	420,0
• шлаковые отходы	30,0	30,0	180,0

Выход продуктов переработки золы уноса приведен в таблице 5.

Таблица 5.
Баланс продуктов переработки
водной суспензии золы уноса

Наименование продуктов	Выход максимальный, %	Производительность		
		т/ч	тыс. т	Влажность, %
Микросфера	0,111	0,078	0,47	7,0
Магнетит	5,829	4,08	24,48	8,0
Гранулированная зола	94,06	65,84	395,0	15,0
Итого	100,00	70,0	420,0	–

Насосные станции



Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей природной среды Российской Федерации в 2021году». – Текст: электронный // Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации : М. – URL: <https://2021.ecology-gosdoklad.ru/doklad/o-doklade/> (дата обращения 21.11.2023).
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 г. – Текст: электронный //Росгидромет. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/34407/> (дата обращения 21.11.2023).
3. Проблемы и перспективы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ. Ч. 1 / Г. С. Подгородецкий [и др.]. – Текст: непосредственный // Черная металлургия (известия вузов). 2018. Т. 61, № 6. С. 439-446.
4. Таскин, А. В. Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности [Текст]: диссертация на соискание степени кандидата наук: специальность 03.02.08 – Экология (химия) (химические науки) - / Таскин Андрей Васильев; Дальневосточный федеральный университет – Владивосток, 2018. – 208 с.
5. Экологическая геология Украины: справочное пособие / Шнюков Е. Ф., Шестопалов В. М., Яковлев Е. А. и др. – Киев: «Наукова думка», 1993. – 407 с. – Текст: непосредственный.
6. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почв химическими веществами – Текст: электронный // Главный государственный санитарный врач СССР – Москва: Минздрав СССР, 1987. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=78618> (дата обращения 21.11.2023).
7. Кизильштейн, Л. Я. Компоненты зол и шлаков ТЭС / Кизильштейн Л. Я., Дубов И. В., Шпицглуз А. Л., Пара-да С. Г. – Москва: Энергоатомиздат, 1995. – 176 с. – Текст: непосредственный.
8. Цельковский, Ю. К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЕС / Цельковский Ю. К. – Текст: непосредственный // Новое в российской энергетике. Энергоиздат. – 2000. – № 2. – С. 22-31.
9. ZOLA NEW TECHNOLOGY UG: Золошлаковые отходы. Экономическая выгода переработки – Текст: электронный.: сайт - Marine Stasse 44, 59077 Hamm - 19. Мая 2021 – URL: <https://zola-nt.de/ru/zoloshlakovyey-otshodyy-ekonomicheskaya-vygoda-pererabotki/> (дата обращения 4.11.2023).
10. f Россия. Новости: Завод по переработке золошлаковых отходов СУЭК и Opera Minerals увеличил годовую производительность на 40% – Текст: электронный.: сайт – Сибирь. 23 марта 2012 г – URL: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/news/zavod-po-pererabotke-zoloshlakovyh-otshodov-suek-i-omega-minerals-uvelichil-godovuyu-proizvoditelnost-na-40> (дата обращения 4.11.2023).
11. ST EQUIPMENT & TECHNOLOGY: Возможности ST комплекс технологий на летучей золе – Текст: электронный.: сайт – Hampton-авеню, США - URL: <https://steqtech.com/possibilities-of-st-complex-technologies-on-fly-ash/?lang=ru> (дата обращения 4.11.2023).
12. Умбетова, Ш. М. Техногенные отходы предприятий энергетики и пути их вторичной переработки / Ш. М. Умбетова. – Текст: непосредственный // Вестник КазНТУ. – 2019 – № 2 – С. 2-8.
13. Тас-оол, Л. Х. Алюмосиликатные микросфера зольных уносов теплоэлектростанции г. Кызыла / Л. Х. Тас-оол, Н. Н. Янчат, Ж. Э. Чоксум. – Текст: непосредственный // Кызыл: Вестник Тувинского государственного университета – 2012. – № 3 – С. 33-37.
14. Dariusz Bradło USZLACHETNIONE MIKROSFERY GLINOKRZEMIANOWE JAKO NAPEŁNIACZ KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH [Текст]: диссертация / Dariusz Bradło. Краковская политехника. – Краков, 2016.
15. Салихов, В. А. Перспективы извлечения ценных цветных и редких металлов из золо-шлаковых отвалов энергетических предприятий Кемеровской области / В. А. Салихов. – Текст: непосредственный // Вестник Томского государственного университета. 2009 – С. 163-168.
16. Зубков, А. А. Переработка золошлаковых отвалов / Зубков А. А. – Текст: непосредственный // – Москва: Руслотом. Инфраструктурные решения. – 2020 – С. 1-10.
17. Самойлова, Е. Э. Выбор оптимальных направлений использования золошлаковых отходов / Самойлова Е. Э., Гатина Е. Д., Самойлова О. В. – Текст: непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса» № 4 (21) – Макеевка, 2022 – С.4-8.
18. A review of the alumina recovery from coal fly ash, with a focus on China / Zhitong Yao, M.S. Xia, Prabir Kumar Sarker, t. Chen//ResearchGate = March 2014 Fuel 120:74-85

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. И. Мовчан, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет»

Аннотация. Рассматриваются вопросы использования реагентов, применяемых в технологии водоочистки при обработке сточных вод гальванического производства.

Выделены основные направления использования реагентов процессов: коагуляция, нейтрализация и химическое осаждение, в локальном водоочистном оборудовании системах очистки сточных вод промышленных предприятий.

В качестве реагентов используются химические компоненты отработанного моющего раствора в определённом соотношении к шестивалентному хрому, обеспечивающем оптимальный количественный диапазон каждого компонента, входящего в состав реагента.

Предмет исследования. Использование реагентов, входящих в состав отработанного моющего раствора, в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Материалы и методы исследований. С использованием реагентов, в технологии водообработки процессов коагуляции, нейтрализации и химического осаждения, оптимизирован состав химических компонентов, последовательность их введения при обработке сточных вод и результаты их применения.

Полученные результаты. Использование реагентной обработки сточных вод позволяет оптимизировать параметры и режимы работы водоочистного оборудования, проводить обработку сточных вод в несколько этапов, при этом повышается эффективность сточных вод, стабилизируются технико-экономические показатели работы водоочистного оборудования, снижается количество образующихся жидких отходов и т. п.

Выводы. Среди основных выводов использования реагентов следует отметить следующее. Используются отходы гальванического производства, и/или сопутствующих технологий, образующиеся на этом же производстве. Повышается эффективность очистки сточных вод с повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов. Снижаются расходы используемой воды в системах промышленного водоснабжения, что является основой ведения рационального водного хозяйства.

Ключевые слова. Реагенты, реагентное хозяйство, обработка воды, химические компоненты; отработанный моющий раствор, гальваническое производство, коагуляция, нейтрализация, химическое осаждение



**Мовчан
Сергей Иванович**

Работа выполнена в рамках Государственного заказа на оказание государственных услуг (выполнение работ) № 075-03-3023-705/2 Минобрнауки России «Инновационные технологии использования воды и водных ресурсов в системах оборотного водоснабжения» (FRRS 2023-0039)»

ВВЕДЕНИЕ

Реагентная обработка – введение в воду специального вещества (реагента) с целью изменения ее характеристик. Метод реагентной обработки воды нашёл широкое применение при подготовке и использовании воды питьевого и хозяйствственно-бытового назначения. Однако, имеет место использование реагентов в системах оборотного водоснабжения. Например, в системах оборотного водоснабжения металлургических предприятий на охлаждаемых поверхностях оборудования металлургических машин, где протекают взаимосвязанные и часто одновременные нежелательные процессы [1].

Рассматривается использование реагентной обработки сточных вод для удаления взвешенных веществ из нерастворённых примесей, предотвращения карбонатных сульфатных отложений при биологической обработке нефтеперерабатывающих предприятий, комплексом окисляющих и неокисляющих биоцидов широкого спектра для предотвращения биоотложений в теплообменных аппаратах и на элементах градирен [2].

Предварительная обработка сточных вод в системах оборотного, повторного и многоразового использования воды включает в себя несколько взаимосвя-

занных процессов. Направленность этих процессов определяется спецификой работы промышленного предприятия. Однако, общим для большинства систем оборотного водоснабжения является использование реагентов, что ставит своей целью повышения интенсивности в работе систем промышленного использования воды и водных ресурсов.

Рассматриваются системы водяного отопления, являющиеся частью водоподготовки в малых водооборотных системах охлаждения, где проведены работы комплексной водоподготовки, направленные на предотвращения отложений малорастворимых солей жёсткости [3].

Необходимо отметить изыскания по оценке возможных нормативов надежности систем водоснабжения и водоотведения, используемые для проектирования и эксплуатации оборотного водоснабжения промышленных предприятий [20].

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

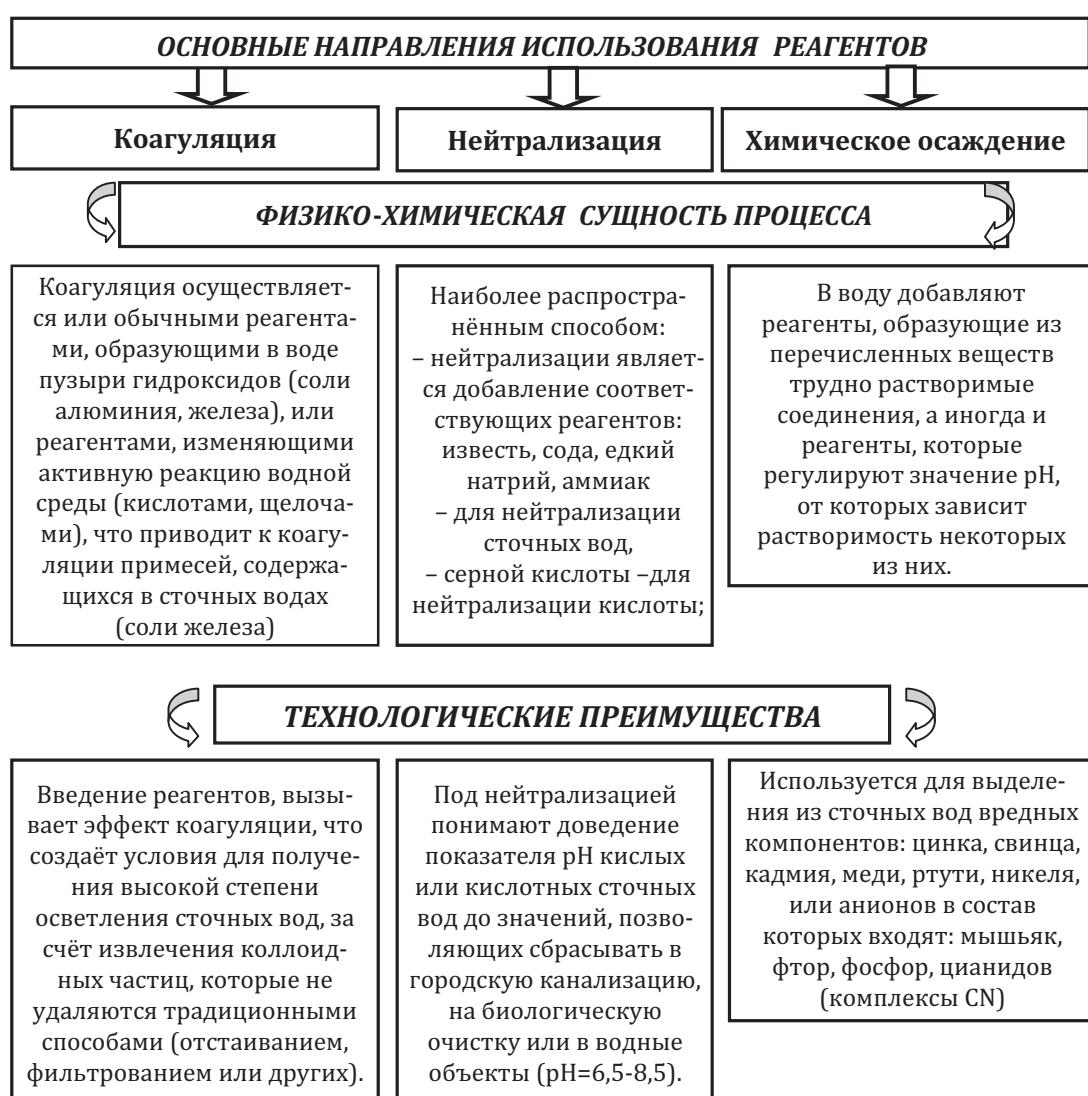
Использование реагентов является одним из перспективных направлений в работе очистных сооружений систем оборотного водоснабжения.

В последнее время при обработке сточных вод с использованием реагентов наметилась тенденция по следующим направлениям: коагуляции, нейтрализации и химического осаждения (рис. 1) [4].

Введение реагентов, которые создают эффект коагуляции, получает возможность достичнуть высокой степени осветления сточных вод за счёт извлечения коллоидных частиц, которые практически не извлекаются во время простого отстаивания или фильтрации [4].

Поэтому одна из целей данного исследования состоит в дальнейшем развитии рациональной эксплуатации систем оборотного водоснабжения за счёт эффективной обработки сточных вод реагентами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи, связанные с работой систем оборотного водоснабжения в части обработки сточных вод. Главная задача состоит в стабилизации обработки стоков на высоком уровне и дальнейшей оптимизации компонентов, используемых реагентов (количества, состава и последовательности их введения).



Rис. 1. Основные преимущества и сущность использования реагентов в технологических процессах

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известны способы очистки сточных вод от тяжелых металлов с использованием отходов производства, образующихся на этом же производстве. Например, способ электролитической регенерации шестивалентного хрома из хромсульфатных отходов производства в диафрагменном электролизере со свинцовым анодом. В этом случае одновременно и непрерывно подают и выводят регенерируемые отходы в катодное и анодное отделение. Скорость протекания процесса 0,003-0,004 л/дм³ час, со стальным катодом при плотности тока – 3-7 А/дм² [5].

Известен способ очистки сточных вод от соединений хрома, включающий контактирование воды с восстановителем металлическим алюминием. В этом случае с целью повышения степени очистки и упрощения процесса обработки сточных вод используют смесь алюминиевой стружки и порошка при соотношении от 0,5 : 1 до 3 : 1 [6].

Разработано несколько технологий использования отходов промышленного производства. Например, возможно использование в качестве сернокислого железа отходов титанового производства. По данному способу очистки сточных вод от хрома электроагуляцией сернокислое закисное железо вводят в виде 5 % раствора в количестве 7,5-12,5 дм³/м³. При этом сокращается время на обработку сточных вод и затраты электрической энергии [7].

Возможно использование в качестве реагента щелочи NaOH с показателем раствора pH = 5-9. Сущность способа состоит в регенерации отработанных хромсодержащих сточных вод раствором щелочи NaOH с последующим отделением осадка фильтрацией и введением в фильтрат соединения шестивалентного хрома. Раствор предварительно нагревают до 40-50 °C, в качестве соединения шестивалентного хрома используют хромовый ангидрит в эквивалентном количестве введенной щелочи [8].

Известен способ обработки сточных вод, заключающийся в восстановлении шестивалентного хрома до трехвалентного, который производится в присутствии серной кислоты. Для осуществления процесса обработки сточных вод используют нерастворимые стальные электроды из графита или алюминиевого угля. С целью повышения степени очистки количество серной кислоты поддерживается на уровне 2-15 г/л [9].

Известен способ очистки хромсодержащих сточных вод с использованием отходов гальванического производства, находящихся в определенном соотношении к шестивалентному хрому [10, 11].

В дальнейшем отходы гальванического производства использовались для получения неорганического клея, в различном композиционном соотношении и составе используемых химических компонентов [12].

Использование ОМР обусловлено следующими технологическими преимуществами:

- использование химических компонентов, входящих в состав ОМР, связано с увеличением диспер-

гирующей возможности и эффективным действием на отдельные загрязнения, а также существенным влиянием на процесс обработки и нейтрализации сточных вод, содержащих ионы тяжёлых металлов;

- при увеличении температурного режима увеличивается скорость транспортирования скоагулированных загрязнений в пенний шар, что создаёт условия для их накопления и выделения осадков, образующихся в этом процессе;

- накопление значительных объёмов шламов способствует увеличению степени эффективности очистки стоков и выделению ионов тяжёлых металлов вместе с пенным продуктом, что упрощает технологию обработки данного вида сточных вод за счёт механического их перемещения в камере накопления жидких отходов;

- растворённые соединения, которые входят в состав сточных вод, взаимодействуют с химическими компонентами реагента, создающими в воде малорастворённые соединения тяжёлых металлов, карбонатов, сульфатов, сульфитов и т.п.;

- вместе с увеличением диспергирующего влияния на загрязнения, на процесс обработки и нейтрализации сточных вод отработанным моющим раствором обеспечивается экологическая безопасность обработанных сточных вод.

Использование растворённых электродов (стальных, алюминиевых) в электроагуляторе предотвращается пассивацию электродной системы, повышается безопасность эксплуатации водоочистного оборудования, обусловленная герметизацией электродной системы.

Сокращённая характеристика разработанных способов обработки сточных вод, с предлагаемой практической реализацией, приведена в табл. 1.

Эффективность использования, в сравнении с другими, аналогичными методами обработки сточных вод (электрофлотацией, флотацией, электроагуляцией), схемы и разработанное оборудование позволяет не использовать дорогостоящие химические реагенты, за счёт использования отходов гальванического производства иногда образующихся на этом же производстве. Химические компоненты незначительно изменяют состав технологических растворов. Используемое оборудование надежно в технологическом отношении, возможно использовать при реконструкции действующих очистных сооружений, без значительных капиталовложений стабилизировать процесс обработки стоков гальванического производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Позволяют решить важную водохозяйственную проблему, заключающуюся в повышении надёжности работы систем оборотного водоснабжения при реагентной обработке сточных вод.

При этом выбор оптимальных параметров химических веществ, определяющих состав реагентов, проводился в несколько этапов:

- определён состав химических компонентов, входящих в состав реагента;

Таблица 1.

Характеристика разработанных способов обработки сточных вод

Источник информации	Технологическая сущность	Формула химических компонентов ОМР	Практическая реализация
А. с. № 1730045 СССР. Способ очистки хромсодержащих сточных вод [10]	поверхностно-активные вещества (ПАВ), метасиликат натрия (Na_2SiO_3), сода кальцинированная (Na_2CO_3), триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ}: \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 = 1 : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,25-2,5) : (0,15-1,5)$	Повышается эффективность очистки сточных вод с повышенным содержанием ионов тяжёлых Cr^{6+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} и др.
А. с. № 1730046 СССР. Способ очистки хромсодержащих сточных вод [11]			Используются отходы гальванического производства, образующиеся на этом же производстве
Пат. № 9877A Уа. Способ очистки сточных вод, образующихся в гальванических отделениях [13].	триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), пирофосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), метасиликат натрия (Na_2SiO_3), сода кальцинированная (Na_2CO_3)	$\text{Cr}^{6+} : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 = 1 : (0,15-0,5) : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,05-0,5)$	Уменьшается себестоимость обработки сточных вод за счёт упорядочения ведения водного хозяйства гальванических отделений
Пат. № 45347 Уа. Способ очистки сточных вод гальванического производства [14].	пирофосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), метасиликат натрия (Na_2SiO_3), сода кальцинированная (Na_2CO_3), триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	$\text{Cr}^{6+} : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} = 1 : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,25-2,5) : (0,15-1,5)$	Способствует эффективному удалению масел, нефтепродуктов и аналогичных жирных растворов и соединений на их основе
Пат. № 64255 Уа. Способ очистки сточных вод гальванического производства комплексом химических компонентов [15].	поверхностно-активные вещества (ПАВ), едкий натрий (NaOH), пирофосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), метасиликат натрия (Na_2SiO_3), сода кальцинированная (Na_2CO_3), триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} = 1 : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,15-0,5) : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,05-0,5)$	Ограничено образование количества взвешенных веществ, ограничивает влияние на электродную систему камеры реакции и ускорение образования флокомплексов в пенном слое
Пат. № 94243 Уа. Способ каскадной очистки сточных вод [16].	поверхностно-активные вещества (ПАВ), едкий натрий (NaOH), пирофосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), метасиликат натрия (Na_2SiO_3), сода кальцинированная (Na_2CO_3), триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} = 1 : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,15-0,5) : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,05-0,5)$	Уменьшается количество шламов и жидких отходов гальванического производства, ограничивающих влияние на окружающую среду и обеспечивающих экологическую безопасность
Пат. № 97943 Уа. Способ очистки сточных вод, образующихся в гальванических отделениях [17].	едкий натрий (Na_2SiO_3), сода кальцинированная (Na_2CO_3), тринатрийfosфат ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \times 12\text{H}_2\text{O}$), стекло натриевое жидкое ($\text{Na}_2\text{OxSiO}_2$)	едкий натрий (NaOH) 40 г/л-32% сода кальцинированная (Na_2CO_3) 40 г/л-32% тринатрийfosфат ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \times 12\text{H}_2\text{O}$) 40 г/л-32% стекло натриевое жидкое ($\text{Na}_2\text{OxSiO}_2$) 5 г/л-4%	Стабилизируется процесс обработки сточных вод от ионов тяжёлых металлов. Сокращается использование воды и, как следствие, уменьшение объёмов сточных вод
Пат. № 103544 Уа. Способ обработки высококонцентрированных сточных вод гальванических отделений [18].	поверхностно-активные вещества (ПАВ), едкий натрий (NaOH), пирофосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), метасиликат натрия (Na_2SiO_3), сода кальцинированная (Na_2CO_3), триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{NaOH} : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	Уменьшается количество жидких отходов, сокращаются объёмы использования воды и водных ресурсов в обратном водоснабжении
Пат. № 122002 Уа. Способ обработки хромсодержащих сточных вод [19]	поверхностно-активные вещества (ПАВ), метасиликат натрия (Na_2SiO_3), пирофосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), сода кальцинированная (Na_2CO_3), триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), сернокислое закисное железо $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} : \text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O} = 1 : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,25-2,5) : (0,15-1,5) : (0,10-0,15)$	Оптимизируются химические компоненты, используемые в качестве реагента. Стабилизируется процесс обработки сточных вод

– количество каждого компонента, находящегося в определённом диапазоне, позволяет оптимизировать качественные показатели результатов обработки сточных вод;

Одним из наиболее перспективных путей выполнения указанных требований и условий работы систем оборотного водоснабжения, являющихся составной частью водохозяйственного комплекса страны, является создание и реализация основ научно-технической интенсификации ресурсосберегающих технологий в работе систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Схема обработки производственных сточных вод гальванических отделений, с использованием реагентов электрохимическими методами, приведена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема обработки производственных сточных вод гальванических отделений с использованием реагентов электрохимическими методами. Приёмник-усреднитель стоков: K – концентрированные, K – кислые и P – промывные сточные воды [10, 11, 13-17]

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Область исследований соответствует паспорту научной специальности: 1.2.4 – водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов по следующим научным направлениям:

- применение коагулянтов, флокулянтов, катализаторов, сорбентов и других реагентов для очистки сточных и природных вод, обработки шламов и осадков;
- замкнутые системы водного хозяйства промышленных комплексов и промышленных предприятий, работающих по безотходной или малоотходной технологии.

Поэтому цель исследований состоит в разработке новых и усовершенствовании существующих реагентов для очистки сточных вод, используемых на локальных очистных сооружениях, направленных на обеспечение интенсификации ресурсосберегающих

технологий в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка и усовершенствование реагентной обработки сточных вод за счёт использования химических компонентов – отработанных моющих растворов.

2. Оптимизация химических компонентов, входящих в состав отработанного моющего раствора, используемого при обработке сточных вод гальванического производства.

3. Использование реагентов, состоящих из отработанного моющего раствора, позволяющего производить обработку сточных вод на локальных очистных сооружениях.

Результаты и рекомендации практической реализации полученных результатов исследований. Техническая схема обработки сточных вод с использованием химических компонентов в качестве ОМР, которые определяют количественное соотношение и обезвреживании отходов, образующихся вследствие предыдущих операций.

Блок-схема обработки производственных сточных вод гальванических отделений с использованием реагентов представлена на рис. 3.

O	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 = 1 : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,25-2,5) : (0,15-1,5)$
	$\text{Cr}^{6+} : \text{Na}_4\text{P}_3\text{O}_{10} : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 = 1 : (0,15-0,5) : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,05-0,5)$
M	$\text{Cr}^{6+} : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} = 1 : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,25-2,5) : (0,15-1,5)$
	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} = 1 : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,15-0,5) : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,05-0,5)$
P	$\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} = 1 : (0,05-0,5) : (0,05-0,5) : (0,15-0,5) : (0,15-0,5) : (0,05-0,5) : (0,05-0,5)$

Рис. 3. Количественные показатели использования реагентов

Одним из решений использования реагентов является каскадная обработка сточных вод. Целью каскадной очистки стоков является оптимизация технологических параметров и режимов работы сточных вод с использованием химических компонентов, входящих в состав реагентов [16, 19].

При каскадной очистке сточные воды смешиваются с раствором электролита, входящего в состав химических компонентов в определённом соотношении к шестивалентному хрому: $\text{Cr}^{6+} : \text{ПАВ} : \text{NaOH} : \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, с общей концентрацией в пределах 50-100 мг/дм³. Электролиз проводят с использованием стальных электродов и напорной флотацией, поэтапно вводя химические компоненты в соотношении к Cr^{6+} (мас. ч.):

ПАВ (поверхностно-активные вещества)	0,15 ... 0,5
едкий натрий (NaOH)	0,05 ... 0,5
пирофосфат натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)	0,15 ... 0,5
метасиликат натрия (Na_2SiO_3)	0,15 ... 0,5
сода кальцинированная (Na_2CO_3)	0,05 ... 0,5
триполифосфат натрия ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	0,05 ... 0,5

Кроме того, каскадное (поэтапное) введение химических компонентов отработанного моющего раствора повышает влияние ПАВ на стойкость прямых эмульсий, различных составных масел и нефтепродуктов, и условия образования твердых частиц.

В одном случае: электролиз проводят с удельными затратами электрического заряда в пределах 100-600 Кл/дм³ – в одном случае и 600-4000 Кл/дм³ – в другом случае [10, 11].

В другом электролиз проводят с удельными затратами электрического заряда в пределах 100-600 Кл/дм³ – в одном случае, 600-1000 Кл/дм³ – в другом случае и 1000-4000 Кл/дм³ – в третьем случае [19].

Повышение эффективности очистки производственных и бытовых сточных вод достигается путём поэтапного (каскадного) введения химических компонентов и создания условия для поверхностного и межфазного натяжения на границе раздела фаз. Создаются условия для активации при смачивании различных загрязнений и очистки от загрязнений с различным содержанием нефтепродуктов, различного количественного их состава.

Способ очистки хромсодержащих сточных вод происходит следующим образом. При электролизе в раствор электролита, содержащего небольшие примеси поверхностно-активных веществ, кальцинированную соду, метасиликат, пирофосфат и триполифосфат натрия, а также сернокислое закисное железо (табл. 2), где происходит активация поверхности стальных электродов и увеличивается скорость транспортировки железосодержащего коагулянта в сточную воду с содержанием ионов хрома Cr⁶⁺ и Cr³⁺. Химические добавки позволяют получить более концентрированный раствор коагулянта, а также более мелкие пузырьки газовой фазы.

При дальнейшем смещении железосодержащего коагулянта со сточной водой ускоряется окислительно-восстановительная реакция (табл. 2), происходит формирование флотокомплексов и

эффективность процесса флотации гидроксидов в пенный слой в несколько раз выше по сравнению с известными способами (табл. 3). Это позволяет повысить степень очистки сточных вод.

При очистке хромсодержащих сточных вод железосодержащим коагулянтом, полученным при электролите предложенным способом, общая концентрация вводимых в электролит химических компонентов должна находиться в пределах 50-100 мг/дм³ (рис. 4).

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Использование реагентов для очистки сточных вод в системах промышленного водоснабжения промышленных предприятий позволило определить системный подход, который состоит в следующем:

1. Разработаны новые и усовершенствованы существующие технические решения обработки стоков химическими компонентами, входящими в состав отработанных моющих растворов, используемых при реагентной обработки сточных вод промышленных предприятий в процессах коагуляции, флотации и химической обработки.

2. Результаты проведенных исследований одобрены в промышленном производстве на установках комбинированного типа, которые внедрены в работу систем промышленного водоснабжения, с производительностью водоочистного оборудования в пределах от 1 до 10 м³/час.

3. Установлено, что использование определённых реагентов возможно при различном их сочетании, при соблюдении порядка их введения, количественного соотношения с учётом специфики производства и условий образования сточных вод. Однако, необходимо придерживаться времени и порядка введения химических компонентов, начиная с минимального уровня и сохраняя диапазон (количество) каждого компонента.

Таблица 2.

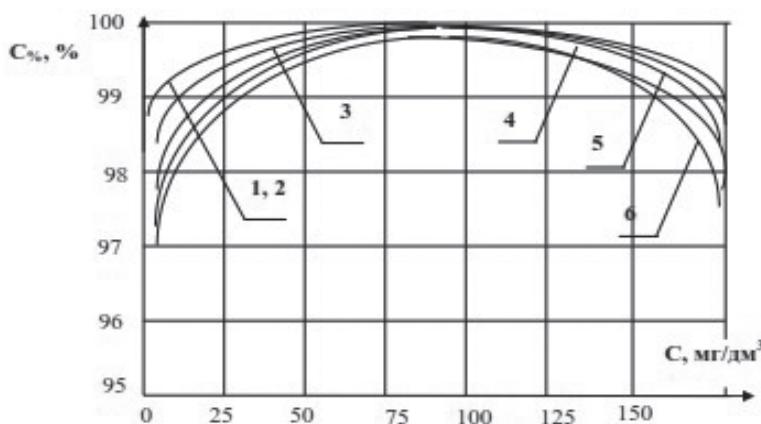
Соотношение химических компонентов к Cr⁶⁺ и эффективность очистки сточных вод

Соотношение химических компонентов Cr ⁶⁺	X ₁	X ₂	X ₃	X ⁴	X ₅	X ₆
	ПАВ	Na ₄ P ₂ O ₇	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	Na ₅ P ₃ O ₁₀	Fe ₅ O ₄ ·7H ₂ O
	– поверхностно- активные вещества	пирофосфат натрия	метасиликат натрия	сода кальцинована	триполифосфат натрия	сернокислое кислое железо
1,0	0,15-0,5	0,05-0,5	0,05-0,5	0,25-2,5	0,15-1,5	0,10-0,15
Эффективность очистки сточных вод, %						
y ₁	98,25	98,5	99,0	98,0	97,5	99,0
y ₂	97,25	98,75	99,0	98,5	99,25	98,5
y ₃	98,75	98,5	99,0	98,5	98,75	98,5
y ₄	98,5	98,5	99,0	98,0	99,0	98,5
y ₅	98,75	98,5	99,0	98,0	99,25	98,5
y ₆	98,5	98,5	98,75	98,5	98,5	97,5

Таблица 3.

Сравнительные показатели эффективности обработки сточных вод и количества образования осадков и флотошлама при использовании химических компонентов и соответствующих добавок

№ п/п	Формула химических компонентов ОМР	Добавки	Эффективность очистки			Объём	
			Cr ⁶⁺	Cr ³⁺	Fe ³⁺	осадка	флотошлама
1, 2	Cr ⁶⁺ : ПАВ: Na ₂ SiO ₃ : Na ₂ CO ₃ : Na ₄ P ₂ O ₇	Лабомид-203 (ТУ-38107-38-73)	0,01	0,015	0,8	12	0,5
3	Cr ⁶⁺ : Na ₄ P ₂ O ₇ : Na ₂ SiO ₃ ; Na ₂ CO ₃ : Na ₅ P ₃ O ₁₀	Лабомид-201 (ТУ-38107-38-73)	0,01	0,011	0,65	11,0	0,45-0,50
4	Cr ⁶⁺ : ПАВ : NaOH :Na ₂ SiO ₃ ; Na ₄ P ₂ O ₇ : Na ₂ CO ₃ : Na ₅ P ₃ O ₁₀	Лабомид-201 (ТУ-38107- 38-73)	0,01	0,012	0,70	11,5	0,40-0,45
5	ПАВ: NaOH :Na ₂ SiO ₃ ; Na ₄ P ₂ O ₇ : Na ₂ CO ₃ ;Na ₅ P ₃ O ₁₀	Лабомид-203 (ТУ-38107- 38-73)	0,01	0,012	0,75	10,5	0,45-0,50
6	Cr ⁶⁺ : ПАВ : NaOH:Na ₂ SiO ₃ : Na ₄ P ₂ O ₇ ;Na ₂ CO ₃ ;Na ₅ P ₃ O ₁₀	Пивная дробина консервированная	0,01	0,011	0,80	10,0	0,40-0,45
7.	Cr ⁶⁺ ПАВ: NaOH:Na ₂ SiO ₃ : Na ₄ P ₂ O ₇ ;Na ₂ CO ₃ :Na ₅ P ₃ O ₁₀ : :FeSO ₄ x 7H ₂ O	Лабомид-203 (ТУ-38107- 38-73)	0,01	0,012	0,75	10,5	0,45-0,50



*Рис. 4. Эффективность обработки сточных вод при оптимальной концентрации химических компонентов до Cr⁶⁺ отработанного моющего раствора (50-100 мг/дм³) при реализации разработанных технических решений со следующим соотношением:
1-7 – соответствует порядковому номеру (таблица 3)*

4. Химические компоненты, используемые в определённом соотношении к шестивалентному хрому, обеспечивают эффективную (на уровне 99,0-99,5 %) обработку сточных вод с высокими начальными концентрациями (хрома (VI) в пределах 300-350 г/дм³; меди в пределах (II) 100-150 г/дм³; железа (III) в пределах 180-200 г/дм³; хрома (III) в пределах 80-100 г/дм³) и др. загрязнителей.

5. Использование разработанных технических решений при обработке сточных вод позволяет оптимизировать количественное соотношение и состав химических компонентов [10, 11, 13], последовательность их введенная [14, 15, 17] и оптимизацию минимальных затрат электрического тока [10, 11, 18.], а также обеспечить экологическую безопасность водных объектов [19].

6. С использованием современного математического аппарата оптимизированы оптимальные показатели очистки сточных вод с использованием реагентов, используемых при обработке стоков в промышленных условиях работы аппаратов и отдельных технологических решений, в широком диапазоне их производительности и различной величине загрязнений.

7. Остаточная концентрация по основным загрязнениям снижается до минимально допустимых значений, что позволяет создать условия для уменьшения общих затрат, повышения уровня эффективности их обработки и оптимизации главных параметров и характеристик очистки сточных вод гальванических производств промышленных предприятий.

Список литературы

1. Лобанов, А. А. Реагентная обработка воды в системе оборотного водоснабжения / А. А. Лобанов // Гидравлика, гидрология, водные ресурсы. Прибороустройство – 2011. – № 1. С. 87–88.
2. Тен, К. И. Обработка воды реагентным способом в системах оборотного водоснабжения / К. И. Тен // Форум молодых учёных. 2017. № 1(5). – С. 595–599.
3. Пинчук, О. А., Костко, А. Ф., Караван, С. В. Комплексная водоподготовка в малых водооборотных системах охлаждения // Вестник Международной академии холода «Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение». 2020. № 3. С. 3–9.
4. Мацнев, А. І. Водовідведення на промислових підприємствах. Навчальний посібник / А. І. Мацнев, Л. А. Саблій. – Рівне: Українська державна академія водного господарства, 1998. – 209 с.
5. А. с. № 583202 СССР. МКИЗ С25 В 1/00, С01 G37/00, С02 С5/12. Способ электрохимической регенерации шестивалентного хрома / Е. С. Лещих, В. Г. Мороз. – № 1952557/23–26; Заявл. 25.07.73; Опубл. 10.12.77; Бюл. № 45.
6. А. с. № 882951 СССР. МКИЗ С02 F 1/70. Способ очистки сточных вод от соединений хрома / В. С. Галахов, Э. П. Агосян, В. А. Комаров, В. А. Ушков, Б. Б. Блинов. – № 2884140/29–26; Заявл. 18.02.80; Опубл. 23.11.81; Бюл. № 43.
7. А. с. № 739007 СССР, МКИЗ С02 F 1/46. Способ очистки сточных вод от хрома электрокоагуляцией / В. В. Вершинина. – № 2480376/29–26; Заявл. 03.05.77; Опубл. 20.06.80; Бюл. № 21.
8. А. с. № 865812 СССР. МКИЗ С02 С 1/46. Способ регенерации отработанных хромсодержащих растворов / С. С. Афонский, Г. Н. Новицкая, Е. С. Губская, С. Б. Лепская, И. Я. Киреев, П. З. Изотова. № 2847397/29–26; Заявл. 06.12.79; Опубл. 23.09.81; Бюл. № 11.
9. А. с. № 639820 СССР. МКИЗ С02 С5/12. Способ обработки сточных вод / Е. Г. Ризо, Е. Г. Герасимов, В. П. Бурцев, И. В. Грибкова, Л. В. Мирвода, В. И. Тюфтина и А. И. Земленикова. – № 2334192/29–26; Заявл. 15.03.76; Опубл. 30.12.78; Бюл. № 48.
10. А. с. № 1730045 СССР. МКИ7С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н. И. Бунин, С. И. Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. – Заявка № 4670283/26; заявл. 30.03.89; опубл. 30.04.92. Бюл. № 16. 12 с.
11. А. с. № 1730046 СССР. МКИ7С02 F1/46. Способ очистки хромсодержащих сточных вод / Н. И. Бунин, С. И. Мовчан; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. – Заявка № 4670283/26; заявл. 30.03.89; опубл. 30.04.92. Бюл. № 16. 11 с.
12. Бунина, Л. Н., Мовчан, С. И. Технология получения неорганического клея с использованием осадков гидроксидов тяжёлых металлов / Л. Н. Бунина, С. И. Мовчан // журнала «Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры». Строитель Донбасса. № 2-2023. С. 13–18.
13. Пат. № 9877 Уа. Способ очистки сточных вод, образующихся в гальванических отделениях/ С. И. Мовчан. – Заявка № и 2005 03515, заявл. 14.04.2005; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10. – 9 с.
14. Пат. № 45347 Уа. МПК7 C02 F1/46. Способ очистки сточных вод гальванического производства / С. И. Мовчан. – Заявка № и 2009 04539, заявл. 07. 05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. – 9 с.
15. Пат. № 64255 Уа. МПК7 C02 F1/46. Способ очистки сточных вод гальванического производства комплексом химических компонентов / С. И. Мовчан, М. В. Морозов. – Заявка № и 2010132249, заявл. 08.11.2010; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21. – 12 с.
16. Пат. № 94243 Уа. МПК7 C02 F1/46 (2006.01). Способ каскадной очистки сточных вод / С. И. Мовчан. – Заявка № и 2014 03882 Заявл. 14.04.2014, опубл. 10.11.2014, Бюл. № 21. – 12 с.
17. Пат. № 97943 Уа. МПК7 C02 F11/00. Способ очистки сточных вод, образующихся в гальванических отделениях / С. И. Мовчан. – Заявка № и 2014 11865 Заявл. 09.10.2014, опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7. – 12 с.
18. Пат. № 103544 Уа. МПК7 C02 F1/46 (2006.01). Способ обработки высококонцентрированных сточных вод гальванических отделений: патент / С. И. Мовчан. – Заявка № и 201505048 / Заявл. 25.05.2015, опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24. – 11 с.
19. Пат. на изобретение № 122002 Уа. С2 МПК7C02 F1/463 (2006.01). С02 F101/22 (2006.01). Способ обработки хромсодержащих сточных вод / С. И. Мовчан. – Заявка № и 2018 06127; заявл. 01.06.2018, опубл. 25.08.2020. Публикация сведений о заявке 10.12.2019, Бюл. № 23. Публикация сведений о выдаче патента 25.08.2020, Бюл. № 16. – 14 с.
20. Найманов, А. Я. Возможные нормативы надежности систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / А. Я. Найманов, А. А. Найманова // Науковий вісник будівництва, Харків, Харк. нац. ун-т будівн. і арх., 2013. – № 71. – С. 397–402.

АЛГОРИТМ (ТЕОРИЯ) РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

В. Н. Качан, д.т.н., профессор; А. В. Лукьянов, д.т.н., профессор; Д. Э. Рыбак
ФГБОУ ВО «ДОННАСА», г. Макеевка

Аннотация: предлагается новая методика расчета теплообменного оборудования, основанная на использовании теоретических формул тепло-массообменных процессов. Данная методика позволит упростить расчёт теплообмена в теплообменниках различного назначения и, что, особенно важно, оптимизировать конструкции как вновь проектируемых, так и эксплуатируемых теплообменников. Путём оптимизации отдельных конструкционных элементов можно повысить эффективность работы теплообменников на различных режимах и снизить затраты на их производство. Основным критерием выбора теплообменного агрегата является площадь его рабочей поверхности. Она определяется с помощью теплового расчета теплообменника при его создании или эксплуатации. Методы расчета теплообменников отличаются только видом расчётных уравнений коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления при движении теплоносителей в зависимости от конструктивных особенностей аппаратов и технологических условий теплообмена.

Ключевые слова: теплообменник, тепловые потоки, коэффициент теплоотдачи, эмпирические формулы, теория, теплоносители, число Рейнольдса, коэффициент турбулентности, тепловой вектор.



Качан
Владимир Николаевич



Лукьянин
Александр Васильевич



Рыбак
Данил Эдуардович

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Теплообменный аппарат – устройство, в котором осуществляется процесс передачи теплоты от одного теплоносителя к другому для осуществления различных тепловых процессов, например, нагревания, охлаждения, кипения, конденсации или более сложных физико-химических процессов, таких как сушка, увлажнение, ректификации и др. Теплообменные аппараты применяют как отдельные агрегаты или элементы в энергетических и технологических установках в различных областях промышленности и сельского хозяйства [1].

По принципу действия теплообменные аппараты разделяются на две большие группы: поверхностные и смесительные аппараты. К первой группе, в свою очередь, относятся рекуперативные и регенеративные аппараты. В рекуперативных аппаратах теплопередача между греющей и нагреваемой средами осуществляется через разделяющую стенку. Направление теплового потока в рекуператорах, как правило, не меняется во времени, а процесс теплообмена может протекать как без изменения агрегатного состояния потоков, так и с изменением обеих или одной из рабочих сред. Основным критерием выбора теплообменного агрегата является площадь его рабочей поверхности. Она определяется с помощью теплового расчета теплообменника при его создании или эксплуатации.

Расчет может производится как проектный (конструкторский) или проверочный. Конечным результатом конструкторского расчета является определение площади поверхности теплообмена, необходимой для обеспечения заданных тепловых потоков.

Проверочный расчет, напротив, служит для установления конечных температур рабочих теплоносителей, то есть тепловых потоков при имеющейся площади поверхности теплообмена.

Как правило, при проведении теплового расчёта необходимо учитывать всевозможные внешние и внутренние факторы, влияющие на процесс обмена теплом:

- особенности конструкции и работы аппарата;
- потери энергии при работе устройства;
- коэффициенты теплоотдачи тепловых носителей;
- различия в работе на разных участках поверхности (дифференциальный характер) и т.д.

Что мы получаем в результате расчета и в чём его конкретное применение?

Допустим, что на предприятие поступил заказ. Необходимо изготовить тепловой аппарат с заданной поверхностью теплообмена и производительностью. То есть перед предприятием не стоит вопрос размёров аппарата, но стоит вопрос материалов, которые обеспечат нужную производительность с заданной рабочей площадью.

Для решения данного вопроса производится тепловой расчет, то есть определяются температуры теплоносителей на входе и выходе из аппарата. Исходя из этих данных, выбираются материалы для изготовления элементов устройства.

В конечном итоге, можно сказать, что рабочая площадь и температура носителей на входе и выходе из аппарата – основные взаимосвязанные показатели качества работы теплообменника. Определив их путём теплового расчета, инженер сможет разработать основные решения для конструирования, ремонта, контроля и поддержания работы теплообменников.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В основу работы теплообменных аппаратов положена теплоотдача от горячих сред (теплоносителей: вода, пар, различные технологические жидкости и газы) к нагреваемым средам (теплоносителям). Известно большое количество конструкций теплообменников [1].

Методы расчета теплообменников отличаются только видом расчётных уравнений коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления при движении теплоносителей в зависимости от конструктивных особенностей аппаратов и технологических условий теплообмена [2, 3].

Уже более 60 лет используются эмпирические формулы [2, 3, 4] для расчета теплообменных аппаратов. Эти формулы можно применять в узком опытном диапазоне параметров, влияющих на конструкцию и режим работы конкретных теплообменников. Формул таких много, но они не позволяют оптимизировать режим работы и конструкции теплообменных аппаратов [1].

Самыми распространёнными являются эмпирические формулы для расчетов коэффициентов теплоотдачи в межтрубном пространстве ам.тр от горячего теплоносителя и в трубном пространстве атр к холодной воде через стенки трубок, составляющих поверхность нагрева теплообменника [2, 3, 4]

$$\alpha_{\text{м.тр}} = (1630 + 21t_{\text{c.cp}} - 0,041t_{\text{c.cp}}^2) \times w_{\text{м.тр}}^{0.8} / d_{\text{м.тр}}^{0.2}, \quad (1)$$

где $t_{\text{c.cp}}$ – средняя температура греющей воды, °C;

$w_{\text{м.тр}}$ – скорость греющей воды, м/с (задаётся в диапазоне 0,5÷1,5 м/с);

$d_{\text{м.тр}}$ – эквивалентный диаметр течения греющей воды, м, который рассчитывается по формуле

$$d_{\text{м.тр}} = \frac{D_{\text{вн}}^2 - z_{\text{тр}} \cdot d_{\text{н.тр}}^2}{D_{\text{вн}}^2 + z_{\text{тр}} \cdot d_{\text{н.тр}}}, \quad (2)$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр корпуса теплообменника, м;

$z_{\text{тр}}$ – количество трубок в корпусе, составляющих поверхность нагрева, шт.;

$d_{\text{тр}}$ – внутренний диаметр трубки, м.

Средние температуры $t_{\text{c.cp}}$, $t_{\text{в.в.ср}}$ греющей и нагреваемой воды соответственно рассчитываются по формулам

$$t_{\text{c.cp}} = \frac{t_{\text{c.ex}} + t_{\text{c.yx}}}{2}, \quad (3)$$

$$t_{\text{в.в.ср}} = \frac{t_{\text{в.в.х}} + t_{\text{в.в.г}}}{2}, \quad (3)$$

Такие же формулы (1-4) используются и для расчета $\alpha_{\text{тр}}$ в латунных трубках, но с другими индексами.

Далее определяется общий коэффициент теплоизделия от греющей к нагреваемой воде в трубках

$$K_{\text{т.пер}} = \frac{m}{\frac{1}{\alpha_{\text{м.тр}}} + \frac{\delta_{\text{тр}}}{\lambda_{\text{лат}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{тр}}}}, \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}). \quad (5)$$

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ классических методов расчета теплообменных аппаратов показывает, что одним из основных параметров, определяющих эффективность работы теплообменников, является коэффициент теплоотдачи α , $(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}))$. В отличие от коэффициента теплопроводности λ , $(\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}))$ коэффициент теплоотдачи α – очень сложная величина, учитывающая не менее 12-ти других параметров, обуславливающих протекание теплообмена в теплообменнике

$$\alpha = f(w, \lambda, c_p, t, \Phi, L_1, L_2, L_3, \mu, \beta, \delta, t), \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (6)$$

где w – скорость движения теплоносителя, м/с;

λ – коэффициента теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$;

c_p – изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·°C);

t – температура теплоносителей, °C;

Φ, L_1, L_2, L_3 , – форма и линейные размеры, м;

μ – вязкость теплоносителей, Па·°C;

β – коэффициент объемного расширения, $1/^\circ\text{C}$;

δ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$

Определение коэффициентов теплоотдачи $\alpha_{\text{м.тр}}$ и $\alpha_{\text{тр}}$ по классической методике для конкретной конструкции осуществляется с использованием эмпирических формул (их десятки, а может и больше).

Использование эмпирических формул не позволяет оптимизировать режимы работы теплообменников и их оптимальную конструкцию. Наиболее часто применение эмпирических формул – вынужденная операция, что ведет к нарушению теплового баланса и в итоге к конечной невязке (погрешности расчета) от 10 до 40 %.

В статье на основании теоретических исследований и опыта эксплуатации теплообменников предлагаются вернуться к полуэмпирической формуле М. А. Михеева [5]

$$\alpha_{\text{м.тр}} = \lambda / d_{\text{э.м.тр}} Re^{kt}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (7)$$

где $kt = k_{\text{т.т.б}}$ – безразмерный показатель (коэффициент турбулентности), учитывающий тепловую поперечную турбулентность в зависимости от конструктивного расположения трубок, равный

$$k_{\text{т.т.б}} = f \left(\frac{S_{\min}}{S_{\max}} \right)$$

или $k_{\text{т.т.б}} = d_{\text{э.м.тр}\min}^2 / d_{\text{э.м.тр}\max}^2 \quad (8)$

где S_{\min} и S_{\max} – минимальная и максимальная площадь поперечного сечения, м^2 ;

$d_{\text{э.м.тр}}$ – эквивалентный диаметр межтрубного пространства для прохода греющего теплоносителя или поглощенной теплоты нагреваемым теплоносителем, м;

Re – критерий Рейнольдса – показатель турбулентности теплоносителей;

– 0,018 и 0,8 эмпирические коэффициенты. Они могут быть разными для конкретных теплообменников.

Формула (8) близка к теоретическому алгоритму, так как соблюдаются размерности правой и левой части. В этой формуле использованы 8 параметров формулы (6). Не использованы лишь параметры конструктивной характеристики Φ , L_1 , L_2 , L_3 .

Формулы (7) и (8) могут учитывать коридорное или шахматное расположение трубок в межтрубном пространстве, наличие спецспиралей, одеваемых на трубы или на внутреннюю поверхность обечайки [6]. Следует отметить, что шахматное расположение трубок на 18 % эффективнее в сравнении с коридорным, так как в последнем варианте больше остаётся незаполненного пространства между трубками.

Удобнее рассчитывать и понимать $k_{\text{т.т.б}}$ с помощью линейных тепловых векторов, действующих и влияющих на турбулентность в поперечном направлении, тогда как число Re действует только в продольном направлении и его можно назвать скоростным критерием турбулентности. Поэтому в формулах линейные размеры лучше называть линейными тепловыми векторами l_{\min} и l_{\max} [7,8].

В [1] приведены 12 различных секций теплообменников, включающих в себя 1, 4, 7, 12, 19, 37, 64, 109, 151, 216, 283 и 450 трубок. Такой набор трубок не случаен. Он позволяет симметрично с нужными зонами подогрева вокруг трубок расположить их во всем межтрубном пространстве. Если воспользоваться конструктивной схемой теплообменника с 12-ю трубками, то графически можно определить векторы l_{\min} и l_{\max} . Их можно рассчитать теоретически или геометрическим способом (рис.1) при полной симметрии размещения трубок. Если такой симметрии достичь не удается, тогда их можно определить путём

средневзвешенного диаметра фигурных площадок (треугольников) или изменением внутреннего диаметра обечайки теплообменника.

Минимальный вектор рассчитывается в зависимости от числа трубок в первом ряде птр, которые можно разместить на любой из осей

$$l_{\min} = 0,5 \left(\frac{D_{\text{BH}}}{n_{\text{тр.1}}} - d_{\text{тр.н}} \right) \quad (9)$$

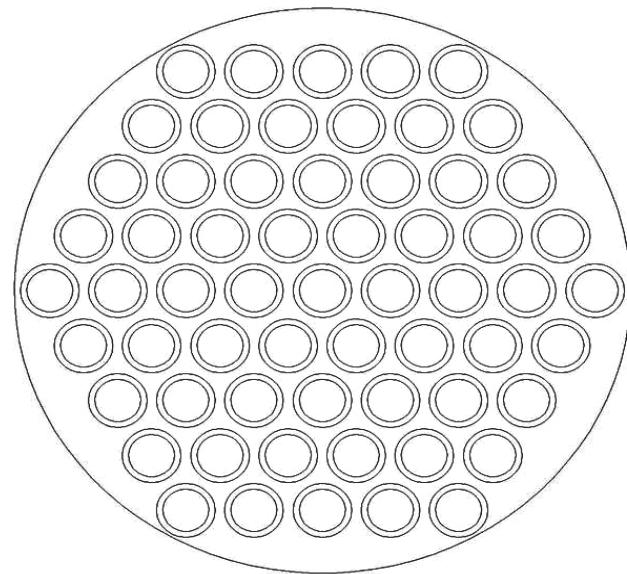


Рис. 1. Геометрический метод определения тепловых векторов

Максимальный тепловой вектор l_{\max} рассчитывается геометрически сложнее: необходимо вначале определить средневзвешенный эквивалентный диаметр $d_{\text{сегм}}$ и сечения незаполненных фигурных треугольников $\Pi_{\text{тр1}}$, образующихся при размещении (уплотнении) трубок в межтрубном пространстве. Все эти треугольники будут одинаковы, если трубы будут стандартными с диаметрами 14/16 мм. Их количество будет примерно в два раза больше числа трубок в теплообменнике. Лучше всего для подсчёта использовать рисунок с поперечным сечением теплообменника и желательно в масштабе.

Теоретически можно рассчитать площади сечений круговых секторов, сегментов и равнобедренных треугольников $S_{\text{сект}}$, $S_{\text{сегм}}$, $S_{\text{тр}}$, образующихся вокруг трубок. Воспользуемся известными геометрическими формулами

$$S_{\text{сект}} = 3,14 \cdot n_{\text{ГРАД}} \cdot r^2 / 360, \text{ м}^2 \quad S_{\text{сект}} = 2/3 \cdot v \cdot h$$

или $S_{\text{сегм}} = S_{\text{сект}} - S_{\text{тр}} \quad (10)$

И тогда

$$d_{\text{э.сегм}} = 0,5 \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot S_{\text{сегм}} \right). \quad (11)$$

Сегменты по площади примерно в 2-4 раза больше, чем фигурные малые треугольники, поэтому их влияние учитывается числовым коэффициентом $K_{\text{сег}}$ только для трубок 1-го ряда. Отношение площадок сегментов к суммарной площади фигурных треугольников равно, примерно, $K_{\text{сег}} = 1,3-1,5$.

Окончательно формула расчёта теплового вектора l_{\max} будет иметь следующий вид

$$l_{\max} = 0,5 \cdot d_{\text{э.пл.}} \quad (12)$$

Дальнейший расчет сводится к выбору оптимального типоразмера секции теплообменника и их количества.

Округление числа секций обычно проводится в большую сторону. При таком округлении нарушается тепловой баланс, может образоваться невязка по мощностям до 25-50 %. В таком случае тепловой баланс нужно уравновесить изменением скоростей движения воды как в трубах, так и в межтрубном пространстве, но при этом потребуется полный пересчет. Поэтому оптимальный тепловой расчет с приемлемой невязкой (хотя бы 2-3%) возможен путем оптимизации на ЭВМ с использованием только теоретических формул, а не эмпирических.

В качестве примера использования предлагаемого алгоритма расчета теплообменников рассмотрим расчет эксплуатируемого теплообменного аппарата с исходными данными: конструктивные характеристики $D_h = 0,089$ м; $D_{\text{вн}} = 0,0082$ м; $\delta_{\text{тр}} = 0,001$ м; $z_{\text{тр}} = 12$ шт.; $d_{\text{н.тр}} = 0,016$ м; температура теплоносителей $t_1/t_2 = 95/70$ °C, $t_3/t_4 = 65/5$ °C; тепловая мощность – 155 кВт.

Расчёт проведём по двум вариантам: классическому с эмпирическими формулами и предлагаемому с теоретическими формулами.

a) В соответствии с эмпирическими формулами:

Принимаем рекомендуемые скорости: $W_{\text{с.м.тр}} = 1$, м/с, а $W_{\text{в.в.тр}} = 0,8$ м/с;

По формуле (1)

$$\alpha_{\text{м.тр}} = \frac{(1630 + 21 \cdot 82,5 - 0,041 \cdot 82,5^2) \cdot 1^{0,8}}{0,023^{0,2}} = \frac{(1630 + 2205 - 452) \cdot 1}{0,47} = 6560 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Здесь $t_{\text{с.ср}} = \frac{95+70}{2} = 82,5$ °C

По формуле (2)

$$d_{\text{э.м.тр}} = \frac{0,082^2 - 12 \cdot 0,016^2}{0,082 + 12 \cdot 0,016} = 0,023 \text{ м};$$

$$t_{\text{в.в.ср}} = \frac{65+5}{2} = 35 \text{ °C}.$$

По формуле (1)

$$\alpha_{\text{тр}} = (1630 + 21 \cdot 35 - 0,041 \cdot 35^2) \cdot \left(\frac{0,8^{0,8}}{0,014^{0,2}} \right) = 2370 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

По формуле (5)

$$K_{\text{т.пер}} = \frac{0,8}{\frac{1}{6560} + \frac{0,001}{82,5} + \frac{1}{2370}} = 2286 \text{ K}_{\text{т.пер}} = \frac{0,8}{\frac{1}{6560} + \frac{0,001}{82,5} + \frac{1}{2370}} = 2286 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Средний температурный напор для противотока определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{нап}} = \frac{(\Delta t_{\delta} - \Delta t_M)}{\ln(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M})} = \frac{90 - 10}{\ln(\frac{90}{10})} = 36,36 \text{ °C}.$$

и тогда расчетная поверхность нагрева теплообменника

$$F_{\text{п.нагр.}} = \frac{155}{2,286 \cdot 36,36} = 1,78 \text{ м}^2.$$

Определяем поверхность нагрева одной трубы

$$f_{\text{тр}} = \pi \cdot d_{\text{н.тр}} \cdot l_{\text{тр}} = 3,14 \cdot 0,016 \cdot 2 = 0,101 \text{ м}^2.$$

Поверхность нагрева заданного теплообменника

$$F_{\text{секц}} = f_{\text{тр}} \cdot z_{\text{тр.секц}} = 0,101 \cdot 12 = 1,21 \text{ м}^2.$$

Невязка равна

$$\frac{1,78 - 1,21}{1,78} \cdot 100\% = 32 \text{ \%}.$$

Это много, поэтому необходимо уравновесить тепловой баланс, приняв другую скорость $W_{\text{в.в.}}$, или изменить типоразмер теплообменника.

6) По предлагаемой теоретической методике для тех же исходных данных:

По формуле (7)

$$\alpha_{\text{м.тр}} = \frac{0,67}{0,5 \cdot 0,024} \cdot \left(\frac{0,9 \cdot 0,024}{0,28 \cdot 10^{-6}} \right) \left(\frac{2,25}{3,86} \right)^2 = 28 \cdot 77000^{0,496} = 6944 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Здесь $\gamma_{\text{с.м.тр}} = 0,28 \cdot 10^{-6}$, $\text{м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость воды при $t_{\text{м.зщс.ср}} = 82,5 \text{ °C}$.

Как видно из результатов теоретическое значение $\alpha_{\text{м.тр}}$ сравнимо с эмпирическим.

При помощи геометрического метода определяем значения тепловых векторов (измеряем) $l_{\min} = 2,25 \text{ мм}$ и $l_{\max} = 6,4 \text{ мм}$.

По той же формуле (7)

$$\alpha_{\text{тр}} = \frac{0,62}{0,5 \cdot 0,014} \cdot \left(\frac{0,9 \cdot 0,014}{0,81 \cdot 10^{-6}} \right) = 88 \cdot 15555^{0,34} = 88 \cdot 26,6 = 2342 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Сравнивая теоретический с эмпирическим расчетом, получаем тоже почти полное совпадение $2342 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ и $2370 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ соответственно.

И тогда коэффициент теплопередачи

$$K_{\text{т.пер}} = \frac{0,8}{\frac{1}{6944} + \frac{0,001}{82,5} + \frac{1}{2342}} = 1348 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

ВЫВОДЫ

В работе предложена методика теплового расчёта теплообменного аппарата для определения количества теплоты, воспринятой теплоносителем в поверхности нагрева, с использованием его теоретических формул, геометрических параметров и коэффициентов турбулизации потока воды. В дальнейшей работе будет проверена адекватность теоретических исследований реальному теплообмену. Геометрическое моделирование теплового баланса позволит получить необходимую мощность и максимально возможный КПД без внесения изменений в его конструкции.

Предлагаемый алгоритм расчета теплообменника носит сравнительный характер. Для более точного расчета требуется масштабные схемы расположения трубок в межтрубном пространстве.

Перспективой для дальнейших исследований является совершенствование расчёта с учётом разной направленности тепловых потоков и технических устройств, повышающих турбулентность движения как греющего, так и нагреваемого теплоносителя.

5. Михеев, М. А., Михеева, Е. М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. – М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
6. Остапенко Д.В. Повышение эффективности жаротрубного теплогенератора за счет улучшения конвективного теплообмена [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Д. В. Остапенко. – Макеевка, 2015. – 235 с.
7. Качан, В. Н. Геометрическое моделирование теплового баланса жаротрубных котлоагрегатов / В. Н. Качан, А. В. Лукьянов, Е. В. Конопацкий // Вестник Луганского национального университета им. Владимира Даля. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018. – № 8 (14) 2018. – С. 140-144.
8. Олексюк, А. А. Особенности теплотехнического расчета многоконтурных теплообменников змеевикового типа при теплоснабжении от АИТ / А. А. Олексюк, А. В. Плужник, Б. В. Кляус // Строитель Донбасса. – 2021. – № 2(15). – С. 30-35.

Список литературы

1. Каталог. Технологии теплообмена. Теплообмен. Корпорация АК «ЭСКМ». г. Краснодар: 2012. – 66 с.
2. Круглов, Г. А. Теплотехника: Учебное пособие / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. – СПб.: Лань, 2012. – 208 с.
3. Золотоносов, Я. Д. Трубчатые теплообменники. Моделирование, расчет: Монография / Я. Д. Золотоносов, А. Г. Багоутдинова, А. Я. Золотоносов. – СПб.: Лань, 2018. – 272 с.
4. Маринюк, Б. Расчеты теплообмена в аппаратах и системах низкотемпературной техники / Б. Маринюк. – М.: Машиностроение, 2015. – 272 с.

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И. В. Сычева; Д. О. Карнаух; С. А. Лозицкий; К. Э. Мотузенко

ФГБОУ ВО «ДОННАСА», г. Макеевка

Аннотация. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации определяет переход на технологии информационного моделирования (далее – ТИМ) в качестве приоритетной задачи. В статье рассматривается механизм цифровой трансформация системы управления инвестиционно-строительным проектом (далее – ИСП) с использованием цифровых технологий. В работе проанализированы отечественные и зарубежные теоретико-методологические подходы к оценке эффективности использования технологий информационного моделирования при реализации ИСП. Обоснована потребность в формировании комплексной оценки экономической целесообразности внедрения ТИМ в процесс управления проектами. Проведенный анализ мирового опыта стран, успешно использующих цифровые технологии в строительстве, выявил основные причины низких темпов цифровизации при реализации инвестиционно-строительных проектов в нашей стране. Предложенный алгоритм действий по ускорению внедрения ТИМ в управление ИСП позволяет сократить сроки реализации проекта, оптимизировать затраты по фасилити-менеджменту, сформировать единую базу для хранения и обмена информацией, снизить затраты на реализацию ИСП в целом. В основе исследования лежат системный, процессный и ситуационный подходы, методы сравнительного и факторного анализа результатов зарубежного и отечественного опыта, метод графического моделирования.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровизация, технологии информационного моделирования, инвестиционно-строительный проект, управление инвестиционно-строительным проектом, программное обеспечение, затраты, анализ, экономическая эффективность.



Сычева
Ирина Валерьевна



Карнаух
Дмитрий Олегович



Лозицкий
Сергей Андреевич



Мотузенко
Ксения Эдуардовна

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Цифровизация экономики ставит перед промышленностью новые цели и задачи, меняет отношение к информационным технологиям, требует оперативного внедрения новых практик в привычные бизнес-процессы. Строительная отрасль активно стала переходить на цифровой формат для достижения «цифровой зрелости». Такой переход оценивается как один из важнейших факторов потенциального устойчивого развития экономики Российской Федерации. Такие кардинальные перемены связаны с тем, что объекты строительства стали высокотехнологичными, возросла сложность управления бизнес-процессами в инвестиционно-строительной сфере в условиях сокращения нормативных сроков реализации проектов. В результате чего наблюдается дефицит времени для получения и обработки необходимой информации с целью своевременного принятия рациональных управленческих решений. Наряду с этим современные ИСП из-за их технологической сложности стали информационно более насыщенными и этот фактор стремительно снижает эффективность традиционных методов управления на стадиях проектирования и реализации объекта капитального строительства (далее – ОКС). Внедрение ТИМ в области промышленного и гражданского строительства с целью поиска новых эффективных решений по управлению ИСП на базе цифровой информационной модели актуализирует исследование, которое нацелено на разработку алгоритма действий

по ускорению внедрения цифровых технологий в управление проектами.

Целью исследования является развитие теории целесообразности внедрения технологий информационного моделирования в процесс управления инвестиционно-строительным проектом на всем протяжении его жизненного цикла.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Цифровизация в строительстве – это создание единого информационного пространства на всех фазах (этапах) реализации ИСП с целью снижения себестоимости готового продукта и сокращения сроков его производства с учётом всех основных и сопутствующих процедур для принятия решений по управлению инвестиционно-строительными проектами.

Проблемы цифровизации строительной отрасли рассмотрены в работах Лукмановой И. Г. Ухалкина Е. В., Вербицкого В. А., Талапова В. В. Исследованию вопросов эффективного внедрения ТИМ в сфере строительства посвящены работы Абакумова Р. Г., Астафьевой Н. С., Трофимовой О. М., Талапова В. В. и других ученых.

Начиная с 2014 г. в России реализуется «План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства» (далее – План). По состоянию на начало 2024 года выполнение Плана затруднено из-за существующих субъективных и объективных причин: недостаточность проработанности нормативно-законодательной базы реализации ИСП в условиях цифровой экономики; дефицит специалистов по управлению ИСП с использованием технологий информационного моделирования; высокая стоимость программного обеспечения (далее – ПО), в основном зарубежного производства, низкие темпы импортозамещения в области ПО; отсутствие методов экономического обоснования целесообразности применения ТИМ на разных фазах (этапах) жизненного цикла ИСП. Основные проекты, составляющие процесс цифровизации в строительстве, перечислены в распоряжении Правительства РФ № 3883р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года» [1].

В основе цифровой трансформации строительной отрасли лежит реализация процессов внедрения цифровых технологий в управление ИСП:

- технология информационного моделирования;
- технология обработки больших данных;
- технология систем распределенного реестра;
- технология виртуальной и дополненной реальностей;
- технология быстродействующих систем обработки информации;
- технология пространственного анализа и моделирования;
- технология в области искусственного интеллекта;

- технология интернета вещей;
- технология проводной и беспроводной передачи данных;
- технология телеметрии;
- технология микроэлектроники и радиоэлектроники.

Цифровая трансформация системы управления ИСП на протяжении всего жизненного цикла проекта предполагает использование цифровых технологий:

- для создания, сбора, накопления, обработки, контроля, хранения, представления и распространения разрешительной, проектно-сметной, исполнительской документации в виде цифровых информационных моделей и электронных документов;
- при формировании реестра нормативно-технических документов в машинопонимаемом и человекочитаемом виде;
- при реализации строительного надзора и строительного контроля;
- при реализации концепции «умный дом».

Использование программно-аппаратных средств и программного обеспечения отечественной разработки является главным приоритетом при обеспечении цифровой трансформации на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства [1]. Цифровизация строительной отрасли позволит решить существующие проблемы текущего состояния управления инвестиционно-строительными проектами (рис. 1).

Решение таких проблем за счет внедрения цифровых технологий окажет позитивное воздействие на строительную отрасль в целом и на оптимизацию управления ИСП в частности. Основными задачами цифровой трансформации в области управления ИСП являются:

- разработка цифровых систем поддержки принятия управленческих решений, отвечающих современным запросам по эффективному планированию, проектированию, эксплуатации и текущему управлению ОКС. Принимаемые решения по управлению ИСП должны быть направлены на достижение целей инвестирования и реализацию стратегических задач строительной отрасли в целом;
- минимизация «цифрового неравенства» инвестиционно-строительных компаний;
- формирование ресурсной базы для перехода к интенсивным методам реализации инвестиционно-строительных проектов и обеспечения безбарьерной цифровой среды;
- повышение уровня цифровизации цепочки застройщик – заказчик – проектировщик – подрядчик – фасилити-менеджер;
- обеспечение перехода на современные методы фасилити-менеджмента, основанные на технологиях искусственного интеллекта.

Одним из проектов цифровой трансформации строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года является ускорение процесса использования ТИМ на всех этапах жизненного цикла ОКС. Технология информационного моделирования – это комплексный подход и новый способ управления инвестиционно-строительным проектом на базе его цифровой информационной модели (далее – ЦИМ).



Рис. 1. Проблемы текущего состояния управления инвестиционно-строительными проектами

Управление ИСП с использованием ЦИМ – это новые методы в принципах формирования проектных команд, реализующих ИСП; это новые решения в области проектирования, строительства эксплуатации ОКС; это использование цифровых технологий в управлении информацией, коммуникациями и взаимодействием между участниками ИСП. По сравнению с традиционным подходом ТИМ обладает весомыми преимуществами, с помощью которых можно эффективно решить большой спектр задач в процессе реализации ИСП. Применение ТИМ повышает качество проектно-сметной документации (далее – ПСД), обеспечивает своевременный информационный обмен, повышает результативность управленческих решений, что в целом снижает затраты на этапе строительства. В ходе внедрения технологий информационного моделирования в процесс управления ИСП необходимо решить следующие задачи:

1. Применение ТИМ на всех этапах жизненного цикла реализации инвестиционно-строительного проекта.

2. Формирование базовых элементов цифровой экосистемы для использования технологиями информационного моделирования: единого классификатора строительной информации для стран Евразийского экономического союза; единых форматов обмена информационными моделями; реестра машиночитаемых нормативных правовых актов и нормативно-технических документов.

3. Обучение работников проектных, строительных организаций, службы государственной экспертизы навыкам использования технологий информационного моделирования.

4. Сокращение сроков проведения государственной экспертизы на всех этапах реализации ИСП.

5. Обеспечение проведения государственной экспертизы с применением технологий, основанных на алгоритмах искусственного интеллекта.

6. Сокращение сроков и стоимости инвестиционно-строительного проекта за счет выявление коллизий на ранних стадиях проектирования.

7. Перевод в электронный формат проектных, строительных, эксплуатационных услуг, связанных с реализацией ИСП.

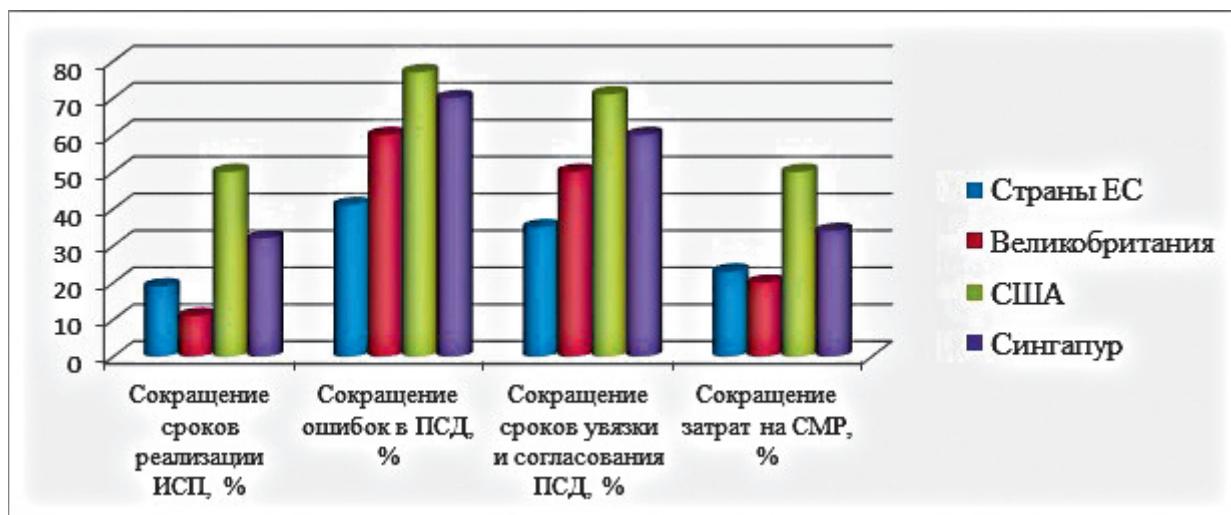
Цифровая трансформация строительной отрасли в развитых странах началась достаточно давно. Компании, которые начали процесс цифровизации раньше, находятся в выигрыше: они могут не только перевести продажи и обслуживание клиентов в онлайн, но и минимизировать нахождение команды проектировщиков и менеджеров на строительной площадке, что дает несомненные конкурентные преимущества для отдельной компании. Более того, за счет увеличения глубины проникновения технологий информационного моделирования во внутренние процессы компаний, существенно увеличивается финансовый эффект, что является дополнительным аргументом, позволяющим упростить процесс финансового обоснования проектов внедрения цифровых технологий. Лучший международный опыт показывает, что применение BIM-технологий выходит далеко за рамки исключительного формирования 3D-модели как картинки. BIM-технологии в международных компаниях применяются во всех строительных процессах и на всех этапах реализации ИСП, что позволяет компенсировать и делать рентабельными возрастающие затраты на формирование BIM-модели по сравнению с традиционными чертежами в 2D. Компании увеличивают инвестиции в интеллектуальную обработку данных с целью экономии затрат и времени и более эффективного использования ресурсов. Так, например, в США в 2003 г. была сформулирована национальная программа 3D-4D-BIM Program, в соответствии с которой использование ТИМ стало обязательным для объектов строительства общественных зданий. Мировыми лидерами по уровню внедрения ТИМ в строительной отрасли являются Великобритания, США, страны ЕС и Сингапур. Эти страны достигли значительных успехов как по доле компаний, применяющих ТИМ в своей деятельности, так и по получаемому эффекту от использования данных технологий [2, 3]. В этих странах осуществляется государственная поддержка инвестиционно-строительных компаний, внедряющих цифровые технологии: разработаны дорожные карты перевода инвестиционно-строительной деятельности на ТИМ, государством выделяются гранты и субси-

дии, реализуется программа льготного кредитования. Поэтому, именно интенсификация цифровой трансформации выступает важным условием поддержания и повышения конкурентоспособности инвестиционно-строительной сферы Российской Федерации [4]. Ожидается, что в 2020-2025 годах рынок BIM продуктов и услуг будет расти со среднегодовыми темпами +15 %. На рисунке 2 представлены значения показателей эффективности использования технологий информационного моделирования при реализации ИСП в странах-лидерах по внедрению информационных технологий [5].

Знаковым событием в конце 2021 г. стало утверждение Правительством РФ дорожной карты по использованию и внедрению технологий информационного моделирования в строительной отрасли. Предполагалось, что ТИМ ускорит процесс своевременного принятия управленческих решений, улучшит качество строительной продукции и будет способствовать сокращению сроков реализации ИСП, что в конечном счете повысит экономическую эффективность инвестиций. На рисунке 3, на основании данных Минстроя РФ, приведены значения ожидаемых результатов показателей эффективности от внедрения ТИМ в России.

В рамках исследования, проведенного в 2020 г. «PropTech в России: обзор практики применения BIM-технологий и инновационных решений в области проектирования», был проанализирован текущий уровень использования BIM-технологий и инновационных решений в области проектирования в России и в мире.

В представленном обзоре указано, что только 5-7 % компаний инвестиционно-строительной сферы России используют ТИМ. По состоянию на 2021 г. это значение увеличилось до 12 %. Для сравнения, в Великобритании в 2019 г. уровень использования ТИМ в инвестиционно-строительной сфере составил 73 %, в странах ЕС – 65 %, в США – 78 %, в Сингапуре – 80 %. На рисунке 4 представлена диаграмма Бью-Ричардса, которая описывает так называемые «уровни зрелости ТИМ» [6].



Rис. 2. Эффективность использования ТИМ при реализации инвестиционно-строительных проектов за рубежом



Рис. 3. Ожидаемые показатели эффективности от внедрения технологий информационного моделирования в Российской Федерации

Согласно этой диаграмме, Россия в настоящее время осуществляют переход с первого на второй уровень. В то же время США, Сингапур, страны ЕС и Великобритания уже находятся на втором уровне и переходят на третий [7, 8, 9]. В процессе цифровизации строительной отрасли необходимо, прежде всего, обеспечить интеграцию информационных моделей инвестиционно-строительных проектов и существующих государственных информационных систем [10]. Создание инструментария для цифровизации строительной отрасли является необходимым

условием для успешного внедрения ТИМ в управление ИСП и получения положительного экономического результата от его внедрения.

К сожалению, существующие методики расчета экономического эффекта в строительстве не учитывают специфику отрасли и не адаптированы к условиям применения ТИМ. До сих пор отсутствует единая системная стратегия развития использования ТИМ при реализации ИСП, в которой должны найти свое место все имеющиеся нормативные документы с указанием конкретных тактических планов,

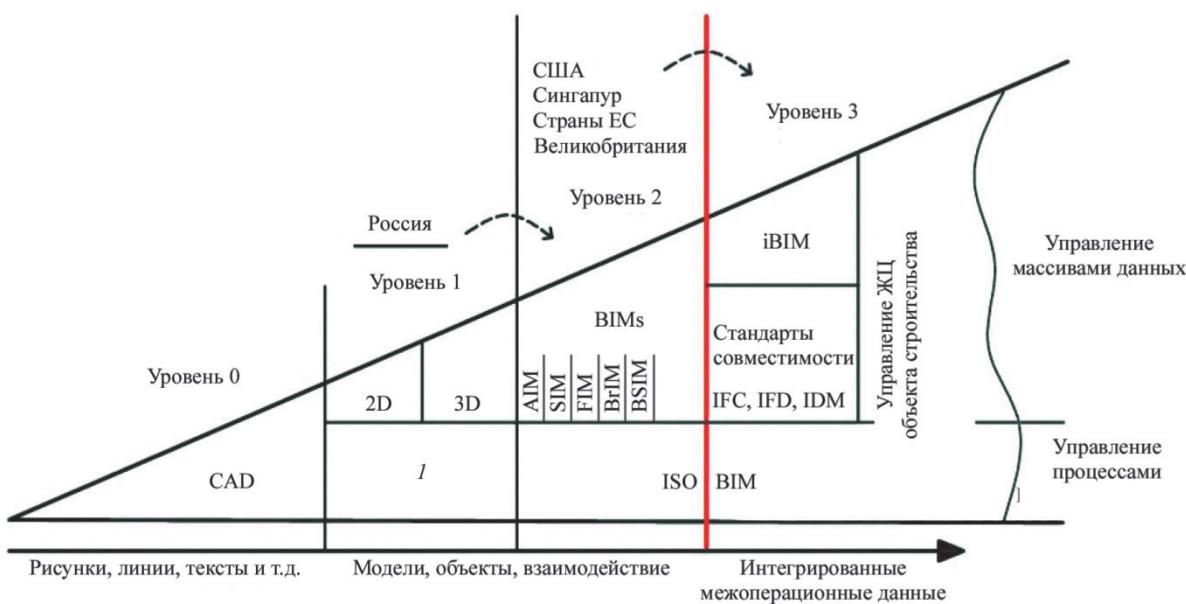


Рис. 4. Диаграмма Бью-Ричардса, описывающая уровни зрелости ТИМ (I – государственные и отраслевые стандарты проектирования, AIM – архитектурная информационная модель, SIM – конструктивная информационная модель, FIM – информационная модель оборудования, BrSIM – информационная модель дорог, BSIM – информационная модель инженерных сетей, iBIM – интегральный BIM, IFS – открытый стандарт для формата представления данных BIM, IFD – международный корпоративный словарь, IDM – инструкция по передаче данных)

мероприятий, действий, ответственных лиц, источников и размеров финансирования. Как отмечают эксперты, не все предприятия и даже крупные компании имеют достаточно средств на внедрение ТИМ. В России, как показывает опыт, стоимость проектирования с применением ТИМ дороже в среднем на 18-20 % по сравнению с традиционным проектированием. При этом нет стопроцентной гарантии, что эти затраты окупятся в рамках одного-двух проектов. Таким образом, существует острая необходимость в соответствующем методическом пособии, которое позволит пользователям и разработчикам ТИМ экономически обосновать целесообразность внедрения технологий информационного моделирования в процесс управления ИСП.

Для ускорения внедрения ТИМ необходимо сформировать общий алгоритм действий, методику выбора варианта ПО и методы расчета ожидаемого экономического эффекта на основе показателей эффективности применения технологий информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла ИСП. На рисунке 5 предлагается алгоритмом действий по ускорению внедрения ТИМ в управление инвестиционно-строительными проектами.

Согласно представленному алгоритму на этапе I рассматривается мировой опыт применения ТИМ в строительстве на различных этапах ЖЦ проекта, выявляются применяемые методики расчета эффективности ТИМ. Для разработки конкретной методики внедрения ТИМ на этапе II необходимо выполнить детальный анализ статистических данных использу-

зования ТИМ в строительной отрасли Российской Федерации. После чего оценивается возможность адаптации существующих методик внедрения к специфике российской строительной отрасли, с анализом причин отставания развития ТИМ от мировых лидеров в области информационного моделирования (этап III) и с учетом текущего уровня применения ТИМ в России. Основным нормативным документом, действующим в Российской Федерации в области ТИМ, является СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». Для расчета ожидаемого экономического эффекта и выбора ПО на IV этапе определяются возможные пути ускорения внедрения ТИМ, предлагаются критерии и набор частных показателей, количественно оценивающих уровень конкретных результаты внедрения, достижение которых (или недостижение) позволило бы оценить в комплексе экономическую эффективность применения ТИМ при реализации ИСП.

На основании определенных критериальных показателей экономической эффективности производится оценка и выбор вариантов программного обеспечения (этап V) для каждого из этапов жизненного цикла ИСП. На VI этапе разрабатывается методика расчета интегрального показателя эффективности применения ТИМ при реализации ИСП. Величина показателя напрямую зависит от частных критериальных показателей:



Рис. 5. Алгоритм действий по ускорению внедрения ТИМ в управление ИСП

1. Снижение стоимости строительства за счет сокращения прямых затрат.

2. Сокращение затрат на условно-переменную часть накладных расходов в результате сокращения сроков реализации ИСП.

3. Сокращение затрат на корректировку проектной документации, более точный подсчет количества материалов без излишних запасов.

4. Сокращение затрат на переделки в процессе выполнения строительно-монтажных работ за счет своевременного выявления коллизий.

5. Сокращение дополнительных затрат, связанных с внедрением ТИМ.

На заключительном VII этапе предлагается применить разработанную методику для оценки эффективности использования ТИМ при реализации конкретного ИСП.

ВЫВОДЫ

На сегодняшний день цифровизация является неотъемлемой частью эволюционного развития экономики Российской Федерации. С каждым днём число инвестиционно-строительных компаний, использующих в своей работе цифровые технологии, увеличивается. Внедрение технологий информационного моделирования в управление ИСП позволяет значительно повысить эффективность управления проектом, обеспечить высокое качество строительной продукции, оперативно вносить изменения в проект и извлекать необходимые данные об ОКС, а также существенно облегчает процесс контроля хода выполнения работ, ускоряет принятие решений, снижает затраты и сокращает сроки строительства. Отсюда следует, что в современных реалиях использование цифровых технологий в управлении ИСП является одним из ключевых факторов повышения экономической эффективности инвестиционной деятельности.

Список литературы

1. Российской Федерации. Законы. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года : Распоряжение Правительства РФ № 3883-р от 27 декабря 2021 г. [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/727688538> (дата обращения: 11.02.2024).
2. Ayinla, K. O. Bridging the digital divide gap in BIM technology adoption [Электронный ресурс] / K. O Ayinla, Z. Adamu // Engineering, Construction and Architectural Management. 2018. Vol. 25. № 10. P. 1398–1416. – Режим доступа : <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-05-2017-0091/full/html> (дата обращения: 11.02.2024).
3. Cheema, R. 12 Most Advanced Countries in Computer Technology [Электронный ресурс] / R. Cheema // Insider Monkey : finance website. – Режим доступа : <https://www.insidermonkey.com/blog/12-most-advanced-countries-in-computer-technology-1103265/> (дата обращения: 11.02.2024).
4. Сычева, И. В. Особенности управления стоимостью инвестиционно-строительных проектов в условиях цифровой трансформации строительной отрасли ДНР / И. В. Сычева, Н. И. Бурау, И. А. Ванин // Строитель Донбасса. – 2022. – № 4(21). С. 9–16. – ISSN: 2617-1848 – Текст: непосредственный.
5. Ильинова, В. В. Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве [Электронный ресурс] / В. В. Ильинова, В. Д. Мицевич // Научная электронная библиотека – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodnyy-oryut-ispolzovaniya-bim-tehnologiy-v-stroitelstve> (дата обращения: 11.02.2024).
6. Активизация внедрения технологий информационного моделирования в российской строительной отрасли [Электронный ресурс] / И. Г. Лукманова, Е. В. Ухалкин // Вестник МГСУ. 2023. вып. 18(12). – Режим доступа : <https://www.vestnikmgsu.ru/jour/article/view/139> (дата обращения: 11.02.2024).
7. Building Information Modeling (BIM) Market Size, Market Share, Application Analysis, Regional Outlook, Growth Trends, Key Players, Competitive Strategies and Forecasts, 2022 to 2030 [Электронный ресурс] // Research and Markets. – Режим доступа : <https://www.researchandmarkets.com/> (дата обращения: 11.02.2024).
8. Braila, N. Building information modeling for existing sustainable buildings / N. Braila, N. Panchenko, V. Kankhva : E3S Web of Conferences, 2021. – Vol. 244. P. 05024. – Режим доступа : [//doi.org/10.1051/e3sconf/202124405024](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124405024) (дата обращения: 11.02.2024).
9. BIM-технология: уровень распространения в 7 ведущих странах [Электронный ресурс] // Planradar, a single platform for smarter information processes. – Режим доступа : <https://www.planradar.com/ru/bim-tehnologiya-uровень-rasprostraneniya-v-7-stranah/> (дата обращения: 11.02.2024).
10. Kankhva, V. S. Construction in the digital economy: prospects and areas of transformation [Электронный ресурс] / V. S. Kankhva, Ya. A. Andryunina, S.V . Belyaeva, Ya. L. Sonin : E3S Web of Conferences. 2021. – Vol. 244. P. 05008. – Режим доступа : [//doi.org/10.1051/e3sconf/202124405024](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124405024) (дата обращения: 11.02.2024).

В АТМОСФЕРЕ БЛАГОДАРНОСТИ И ПРИЗНАНИЯ



21 марта коллектив Донбасской национальной академии строительства и архитектуры чествовал Евгения Васильевича Горохова с 85-летием. В тёплой дружественной обстановке собрались его друзья, единомышленники и коллеги из ректората, научно-педагогического состава и родной кафедры юбиляра «Металлические конструкции и сооружения», чтобы выразить слова признательности почётному Президенту Академии, профессору с мировым именем, своему наставнику и учителю.

Ректор академии **Николай Михайлович Зайченко** отметил, что такое ценное наследие прошлого позволяет смотреть с надеждой в будущее, строить далеко идущие планы. И, несомненно, присутствие рядом такого легендарного человека в качестве наставника дорого стоит.

Благодарственное письмо юбиляру зачитала начальник отдела кадров **Наталья Александровна Иванова**. Она отметила, что, судя по впечатляющим итогам своей деятельности юбиляр овладел искусством жить – самым великим из всех. На разных этапах развития академии – от зарождения, становления и до признания международной общественностью – Евгений Горохов приложил свои знания и сумел воплотить их в жизнь. Опытный руководитель и организатор всегда вёл за собой только вперёд, ведь в основа его стиля управления составляли эрудиция, целеустремлённость и высокий профессионализм.

Проректор, председатель Профсоюза работников ДОННАСА **Юрий Александрович Новичков** поблагодарил за участие, которое оказал Президент ДОННАСА на его становление как личности и руководителя, в том числе и в профсоюзной организации.

Со словами поздравлений и воспоминаниями выступили к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой **Игорь Викторович Роменский**; проректор, д.т.н., профессор **Владимир Филиппович Мушанов**; д.т.н., профессор **Вадим Викторович Губанов**; к.т.н., доцент **Владимир Николаевич Васылев**; к.т.н. **Наталья Сергеевна Смирнова**.



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Планируемый к изданию 27-й номер научно-практического журнала «Строитель Донбасса» будет включать статьи и сообщения, в которых излагаются результаты исследований и разработок по направлениям:

СТРОИТЕЛЬСТВО

- теория расчета строительных конструкций;
- работа материала в составе конструкции, работа материала в условиях хрупкого разрушения, при циклических воздействиях и т.п.;
- проблемы формообразования и оптимальное проектирование зданий и сооружений;
- нагрузки и воздействия на конструкции, здания и сооружения;
- экспериментальные исследования строительных конструкций;
- изготовление строительных конструкций;
- теоретические основы надёжности конструкций зданий и сооружений;
- обеспечение и прогнозирование эксплуатационной надёжности уникальных сооружений;
- техническая диагностика и мониторинг конструкций зданий и сооружений;
- теория формирования и совершенствования строительных технологий;
- анализ технологических процессов при возведении, реконструкции, усилении, восстановлении строительных объектов;
- системы комплексных строительных технологий при возведении зданий, сооружений и инженерных сетей;
- организация и управление строительным производством при возведении, реконструкции, усилении, восстановлении строительных объектов;
- технология и организация эксплуатации зданий и сооружений промышленных предприятий и инженерных сетей;
- технология и организация ведения работ при демонтаже (разборке) зданий и сооружений;
- анализ эффективности применения основных строительных машин и механизмов при осуществлении строительно-монтажных, реконструктивных и демонтажных работ;
- строительные материалы.

ИНЖЕНЕРНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- интенсификация процессов биологической очистки городских сточных вод;
- современные экологически безопасные технологии обработки осадка, инновационные подходы к разделению иловых смесей в биологических реакторах;
- повышение эффективности работы систем подачи и распределения воды;
- оптимизация режима работы теплогенерирующего оборудования систем теплоснабжения;
- использование низкопотенциальной теплоты в системах тепло- и холодоснабжения;
- энергосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования;
- обеспечение безопасности строительных объектов при возникновении ЧС техногенного характера;
- изучение методов предотвращения обрушения строительных объектов при катастрофах;
- повышение надежности систем городского хозяйства;
- развитие транспортных систем населенных пунктов;
- комплексная реконструкция территорий промышленных предприятий региона
- электротехника и автоматизация в строительстве.

АРХИТЕКТУРА

- исследование проблем архитектуры, ее стилеобразования, эстетики и художественной выразительности;
- процессы формирования современной градостроительной среды объектов городской застройки;
- особенности развития садово-парковой и ландшафтной архитектуры в современных социально-экономических условиях;
- разработка основных положений и приоритетных подходов к сохранению и развитию архитектурно-исторической среды в рамках концепции устойчивого развития городских территорий;
- определение фундаментальных основ и приоритетных подходов развития и совершенствования жилищной архитектуры в условиях нового строительства и реконструкции;
- особенности формирования архитектурной среды жизнедеятельности и реабилитации маломобильных групп населения в городах промышленного типа;
- исследование региональных особенностей архитектуры зданий и сооружений и их комплексов, в том числе объектов историко-архитектурного культурного наследия;
- определение научных и практических направлений развития архитектурно-градостроительной реконструкции зданий и сооружений, городских территорий гражданского и промышленного назначения;
- прогнозные исследования в области архитектурной модернизации промышленных зданий и сооружений;
- теоретические и экспериментальные основы градостроительного использования нарушенных территорий в промышленных городах.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НЕДВИЖИМОСТИ

- актуальные вопросы экономики строительства и жилищно-коммунального хозяйства;
- теоретические и прикладные аспекты управления проектами;
- новое в экспертизе и управлении недвижимостью;
- инвестиционные проблемы развития промышленного и гражданского строительства;
- цифровая экономика в строительстве: перспективы развития;
- кадровое обеспечение строительства и жилищно-коммунального хозяйства;
- отраслевые приоритеты научных исследований в области экономики и управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

- автотранспортное обеспечение строительного комплекса;
- совершенствование конструкции, рабочего процесса и технологии ремонта современных автотранспортных средств;
- эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов;
- подъёмно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование;
- повышение комплексной безопасности технологического процесса при использовании наземных транспортно-технологических машин;
- физико-химическое материаловедение транспортно-технологических машин и оборудования;

Материалы просим направлять до 10 мая 2024 г. по адресу:

**286123, РФ Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, дом. 2,
ФГБОУ ВО «ДОННАСА». Электронная почта: strdon@donnasa.ru**

**При подаче материалов придерживайтесь «Требований для авторов»
с целью обеспечения наиболее быстрой публикации ваших статей.**

С уважением, редакционная коллегия

«ЗЕЛЁНОЕ БУДУЩЕЕ» ДЛЯ ВСЕХ



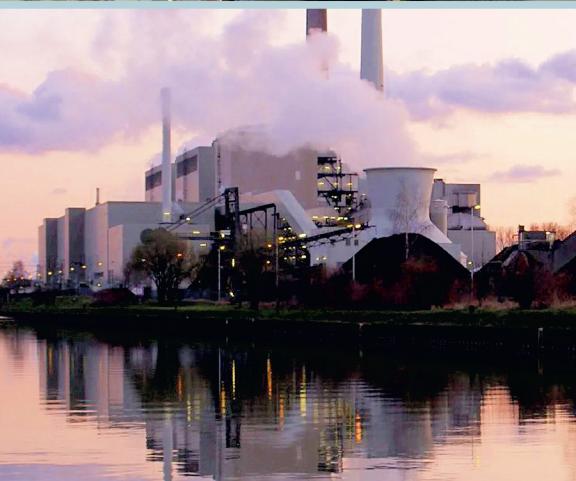
В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры состоялась дискуссия на тему популяризации экологического волонтерства для студентов нашего вуза. Спикером площадки выступила ассистент кафедры «Техносферная безопасность» **Екатерина Леонидовна Головатенко**. Наиболее внимательными и активными оказались самые юные слушатели.

Обсуждение позволило выявить ключевые аспекты успешной популяризации экологического волонтёргства среди молодёжи, поделиться ссылками на волонтёрские «вакансии» для заинтересовавшихся студентов.

Участники дискуссионной площадки обсудили практические шаги по привлечению студентов и дошкольников к экологическим проектам, таким как организация уборки территории, посадка деревьев, сбор мусора и другие мероприятия. Важно отметить, что в нашей академии функционирует волонтерская организация «Просто жить» под руководством **Елены Потий**, где каждый может предложить помочь и реализовать свои идеи.



Организаторы дискуссии выразили надежду, что проведённое мероприятие послужит стимулом для дальнейших исследований и проектов в области экологического волонтерства. Спасибо всем присутствующим за активное участие и ценные идеи, которые помогут нам создать более «зелёное» и устойчивое будущее для всех.



ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»



РФ ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2



+38(0623) 43-70-33



mailbox@donnasa.org