



ISSN 2617-1848

СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (21) декабрь 2022



НАШИ ПАРТНЕРЫ:



Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства ДНР



Министерство образования
и науки ДНР

Врио Главы Донецкой Народной Республики Денис Пушилин поздравил ДонНАСА с 50-летием



В четверг, 17 ноября 2022 года, временно исполняющий обязанности Главы Донецкой Народной Республики Денис Пушилин принял участие в торжественном заседании ученого совета Донбасской национальной академии строительства и архитектуры по случаю 50-летия образовательной организации

В мероприятии принимали участие Министр образования и науки Донецкой Народной Республики Ольга Колударова, ректор ДонНАСА Николай Зайченко, почетный президент ДонНАСА Евгений Горохов, Глава администрации города Макеевки Владислав Ключаров, заведующий лабораторией самовосстанавливающихся конструкционных материалов НЦМУ «Передовые цифровые технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого Николай Ватин.

Врио Главы ДНР поздравил коллектив Донбасской национальной академии строительства и архитектуры с юбилеем.

Денис Пушилин рассказал, что на встречах с молодежью его часто просили порекомендовать наиболее перспективные специальности, которые будут востребованы в ДНР в ближайшие годы и десятилетия, и он с уверенностью говорил, что «на строительные специальности стоит идти – это очень перспективно».

«Много нужно будет инженеров, архитекторов, строителей. И это теперь надолго. Это не связано с тем, что мы будем очень долго все восстанавливать. Нет, мы теперь переходим к этапу созидания, по которому соскучился Донбасс, и это будет касаться не только Донбасса. Поэтому нужно будет огромное количество [специалистов] с учетом той грандиозной стройки, которая нам предстоит», – заявил лидер Республики.

За активное участие в реализации социальных и экономических программ развития строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики, а также в связи с празднованием 50-летия со дня основания Донбасской национальной академии строительства и архитектуры временно исполняющий обязанности Главы Донецкой Народной Республики объявил благодарность коллективу Донбасской национальной академии строительства и архитектуры и присвоил звание Героя Труда Донецкой Народной Республики почетному президенту ДонНАСА Евгению Горохову.

**Поздравляем Николая Михайловича и Евгения Васильевича,
желаем крепкого здоровья, сил, успехов во всех начинаниях**

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

ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»
Министерства образования и науки
Донецкой Народной Республики
при поддержке Министерства строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Донецкой Народной Республики

АДРЕС РЕДАКЦИИ

286123, Донецкая Народная Республика,
г. Макеевка, ул. Державина, 2, ГОУ ВПО «ДОННАСА»
Web: strdon.donnasa.ru. Электронная почта: strdon@donnasa.ru
Контактный телефон: (071) 363-74-63

Печатается по решению Ученого Совета
ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»
Протокол № 3 от 28.11.2022

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

«Свободная цена»

Свидетельство о регистрации средства массовой
информации № 000217, выдано 18.03.2019 года
Министерством информации
Донецкой Народной Республики

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 26.12.2022. Формат 60 x 90¹/₈.
Бум. мелов. Усл. печ. л. 5,20. Тираж 300 экз. Заказ № 20.

Отпечатано ФЛП Дмитриев С.Г. Свидетельство о государственной
регистрации физического лица-предпринимателя № 04543
Серия АА03 от 02.04.2015 г.
86156, г. Макеевка, м-н Зеленый, 76/66.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Агеев В.Г. – НИИГД «Респиратор», РФ
Башева Т.С. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Бенаи Х.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Беспалов В.Л. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Большаков А.Г. – ИрНТУ, РФ
Братчун В.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Брюханов А.М. – ГУ МакНИИ, РФ
Гайворонский Е.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Горожанкин С.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Горохов Е.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Дмитренко Е.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Долженков А.Ф. – ГУ МакНИИ, РФ
Дрозд Г.Я. – ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. Даля»
Зайченко Н.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Иванов М.Ф. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Левченко В.Н. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Лобов И.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Лобов М.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Лукьянов А.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Мамаев В.В. – НИИГД «Респиратор», РФ
Мукушинов Р.М. – КРСУ, Кыргызстан
Мущанов В.Ф. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Нагаева З.С. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
Назим Я.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Найманов А.Я. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Насонкина Н.Г. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Нездойминов В.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Нечипаев В.Г. – ГОУ ВПО «ДонНТУ», РФ
Олексюк А.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Осипов Э.А. – МИНСТРОЙ ДНР, РФ
Пенчук В.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Петраков А.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Понаморенко Е.В. – СамГТУ, РФ
Пушкарёва Н.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Радионова Т.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Рожков В.С. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Савенков Н.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Севка В.Г. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Семченков Л.В. – МИНСТРОЙ ДНР, РФ
Сердюк А.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Тищенко В.П. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Шаленный В.Т. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
Шолух Н.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ
Югов А.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», РФ

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ*Е.Э. Самойлова, Е.Д. Гатина, О.В. Самойлова*

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ
ОТХОДОВ4

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-
КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА***И.В. Сычева, Н.И. Бурау, И.А. Ванин*

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ
ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ
ОТРАСЛИ ДНР9

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ
ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ***С.Е. Гулько, Д.В. Мачикина*

УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ
ОТХОДАМИ ФЛЮСО-ДОЛОМИТНОГО
КОМБИНАТА 16

Ю.В. Конец, К.К. Конец

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТБО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
БИОГАЗА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО
ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ 21

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ***N.G. Nasonkina, E.A. Feskova, P.G. Bereza,
V.S. Zaburdaev, O.E. Zhukov*

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO IMPROVE
THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF
WATER SUPPLY SYSTEMS FOR BOILER HOUSES
(FOR SMALL FACILITIES)27

SUMMARY

*E.E. Samoylova, E.D. Gatina, O.V. Samoylova***OPTIMAL DIRECTIONS' SELECTION FOR THE
USE OF ASH AND SLAG WASTE**

This article determines that the best option to prevent environmental pollution and the diversion of valuable land resources is using ash and slag waste (ASW) for the production of building materials.

ASW using is potentially capable for transforming the construction industry and the production of building materials – bricks, dry building mixtures, foam-gas concrete, refractory products.

The advantages of involving ash and slag materials in economic circulation as a valuable mineral raw material of technogenic origin, suitable for use in many industries are analyzed.

A methodical approach has been developed to detect hydration centers (HC) of different activity on the surface of cement grains. The concentration of hydration centers on the surface of Portland-cement grains is estimated.

It has been established that for the studied sample of Portland-cement, the concentration of HC on the surface is much less than the concentration of the corresponding clinker materials.

*I.V. Sychova, N.V. Burau, I.A. Vanin***FEATURES OF MANAGING THE COST OF IN-
VESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS IN THE
CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE
CONSTRUCTION INDUSTRY OF THE DPR**

This article discusses modern approaches to managing the cost of an investment and construction project as part of the implementation of the federal project "Digital Public Administration". Much attention is paid to information modeling technologies and the prospects associated with their mass application at all stages of the project life cycle. Taking into account the fact that information modeling technologies are gradually becoming an inseparable part of project management, the issues of cost modeling of investment and construction projects are considered. The analysis is carried out; the advantages and disadvantages of the cost engineering system in the context of the digital transformation of the construction industry are identified. The possibility of using the Federal State Information System of Pricing in Construction in the Donetsk People's Republic is considered. It is substantiated that for the effective management of the cost of investment and construction projects in the Donetsk People's Republic, an appropriate legislative framework should be created.

*S.E. Gulko, D.V. Machikina***WATER SOFTENING BY PRODUCTION WASTE OF
FLUX-DOLOMITE PLANT**

The article discusses the actual problem of finding alternative ways to reduce water hardness for the needs of

S U M M A R Y

enterprises in the Donetsk region. The possibility of using waste from the flux-dolomite plant for softening water supplied to boiler houses and heating networks of the region is studied. The results of experimental studies of the possibility and efficiency of using flux-dolomite plant waste for water softening are presented. The results of a study and a comparative analysis of the use of raw materials and wastes of a flux-dolomite plant for water softening are presented.

Yu.V. Kopets, K.K. Kopets

MUNICIPAL SOLID WASTE’S USING FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE

The production and using of biogas refers to innovative energy, energy and resource-saving and environmental technologies. The article discusses a history biogas’ researches, the experience of its production, application, its characteristics and production technology. A brief overview of the current situation in the bioenergy industry in different countries is given here. The situation in the field of processing organic raw materials from MSW landfills into biogas is analyzed. The prospects for its application in Russia and the Lugansk People’s Republic are considered. A scheme for waste disposal with subsequent extraction of biogas is proposed. Particular attention is paid to the process of electricity generation, as well as the types of power plants operating on landfill gas.

N.G. Nasonkina, E.A. Feskova, P.G. Bereza, V.S. Zaburdaev, O.E. Zhukov

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO IMPROVE THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF WATER SUPPLY SYSTEMS FOR BOILER HOUSES (FOR SMALL FACILITIES)

Most of the small boiler houses in the Donetsk People’s Republic are not separated by separate levels, which leads both to a decrease in the reliability and efficiency of their operation, and to a significant complexity in the implementation of their water supply management. In this article, the authors consider the main ways to improve the efficiency of water supply systems for boiler houses, and also present an analysis of the factors affecting the reliability of water supply systems, their failures, operating conditions and energy consumption. The structure and classification of tasks for the reliability of water supply systems is given. A water supply system with low energy consumption for boiler houses is proposed. Studies show that as a result of targeted system management, it is possible to reduce water losses and use the technological reserve for upgrading systems, taking into account wastewater heat recovery.

C O N T E N T S

CONSTRUCTION MATERIALS

E.E. Samoylova, E.D. Gatina, O.V. Samoylova

OPTIMAL DIRECTIONS’ SELECTION FOR THE USE OF ASH AND SLAG WASTE 4

THE ECONOMY OF CONSTRUCTION AND HOUSING AND UTILITIES’ CURRENT ISSUES

I.V. Sychova, N.V. Burau, I.A. Vanin

FEATURES OF MANAGING THE COST OF INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF THE DPR..... 9

HEAT-GENERATING EQUIPMENT OF HEAT SUPPLY SYSTEMS’ OPERATION MODE OPTIMIZATION

S.E. Gulko, D.V. Machikina

WATER SOFTENING BY PRODUCTION WASTE OF FLUX-DOLOMITE PLANT..... 16

Yu.V. Kopets, K.K. Kopets

MUNICIPAL SOLID WASTE’S USING FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE..... 21

INCREASING THE EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEMS

N.G. Nasonkina, E.A. Feskova, P.G. Bereza, V.S. Zaburdaev, O.E. Zhukov

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO IMPROVE THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF WATER SUPPLY SYSTEMS FOR BOILER HOUSES (FOR SMALL FACILITIES) 27

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Е. Э. Самойлова, к.т.н, доцент; Е. Д. Гатина, О. В. Самойлова

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В статье определено, что лучший вариант предотвращения загрязнения окружающей среды и отвлечения ценных земельных ресурсов — это использовать золошлаковые отходы (ЗШО) для производства строительных материалов. Применение ЗШО потенциально способно преобразовать отрасль строительства и производства стройматериалов — кирпича, сухих строительных смесей, пеногазобетона, огнеупорных изделий. Проанализированы преимущества вовлечения золошлаковых материалов в хозяйственный оборот как ценного минерального сырья техногенного происхождения, пригодного для применения во многих отраслях промышленности.

Разработан методический подход для обнаружения центров гидратации (ЦГ) различной активности на поверхности цементных зерен. Дана оценка концентрации центров гидратации на поверхности зерен портландцемента.

Установлено, что для исследуемого образца портландцемента концентрация ЦГ на поверхности гораздо меньше концентрации соответствующих клинкерных материалов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, вяжущие, портландцемент, бетоны, центры гидратации, топохимические реакции



Самойлова
Елена Эдуардовна



Гатина
Екатерина Дмитриевна



Самойлова
Ольга Владимировна

ВВЕДЕНИЕ

Огромное количество золы и шлака скопилось в отвалах, занимающих ценные земельные угодья. Содержание золошлаковых отходов требует значительных затрат. В то же время золы и шлаки ТЭС являются материалами, прошедшими высокотемпературную обработку и получившими специфические свойства, предопределяющие возможность их эффективно использовать в производстве различных строительных материалов (в том числе в производстве вяжущих), что подтверждается не только научными исследованиями, но и практическим опытом.

Использование отходов тепловых электростанций (ТЭС) имеет большое экономическое и экологическое значение, поскольку их очень много, а создание и содержание отходов требует значительных средств. За сутки работы ТЭС мощностью 1 млн. кВт сжигает 10 000 т угля и выделяет 1 000 т шлака и золы. Ежегодно для такого захоронения шлаков (при его высоте 8 м) требуется более 1 га площадей [1-8].

ЗШО являются ценным вторичным ресурсом. На практике это означает, что ТЭС или золошлакоотвал при ТЭС может служить источником сырья для других отраслей.

ЗШО используются как сырье для производства строительных материалов. Наиболее распространены варианты производства кирпичей и бетона с добавками ЗШО, но можно также изготавливать различные вяжущие, цементные смеси, получать различные виды керамики.

Отдельно стоит отметить — ЗШО в составе высокопрочных бетонов не имеет альтернатив по соотношению «цена — свойства» [1-8].

Также применение ЗШО в строительстве или производстве строительных материалов ведет к снижению выбросов диоксида углерода. Бетон, модифицированный с помощью ЗШО, способен поглощать диоксид углерода из воздуха [1-8].

Особенно ценными являются специфические свойства бетона с добавкой ЗШО при использовании его в морской воде, так как ЗШО обеспечивает повышение устойчивости бетона к хлоридам и биологическому воздействию [1-8]. Состав ЗШО представлен на рис. 1.

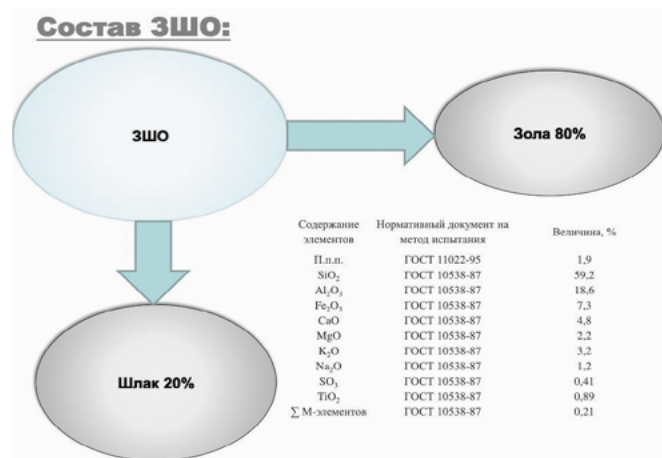


Рис. 1. Состав золошлаковых отходов тепловых электростанций

Золошлаковые материалы (ЗШМ) имеют перспективу широкого применения в целях ресурсосбережения, поэтому наиболее рациональным будет их вовлечение в дорожное строительство. В зависимости от состава шлаков, его фракционного размера и вида он может быть использован в различных слоях оснований дороги.

О выборе того или иного вида шлака можно судить по износостойкости дорожного покрытия. Так, например, использование золы уноса в качестве добавки при строительстве автомобильных дорог способствует укреплению дорожного покрытия за счет взаимодействия с цементом или известью. Использование данного компонента отдельно также придаёт раствору особые гидравлические свойства. Золошлаковые отходы применяют для возведения насыпей земляного полотна, целесообразность применения золы-уноса и золошлакового материала устанавливается для каждого конкретного случая, исходя из следующих характеристик:

- технико-экономические показатели и качество золошлаковых материалов;
- дальность перевозки и стоимость золошлаковых материалов;
- возможность экономии цемента и др.

Анализ последних исследований и публикаций. Применение ЗШО потенциально способно преобразовать отрасль строительства и производства стройматериалов. Уже в 2018 г. заявлялось, что для реализации нацпроектов не хватает природных ресурсов. Использование ЗШО в качестве их замены позволяет решить проблему нехватки материалов и одновременно снизить социальное напряжение.

В литературе встречается достаточно много публикаций по использованию отходов топливно-энергетического комплекса в различных направлениях [2–7].

Наибольшее количество публикаций по использованию золошлаковых отходов относится к строительной отрасли. Золошлаковые отходы рекомендуют использовать в качестве строительных материалов для производства цемента, бетона и т.д.

В ряде работ рассмотрена возможность применения золошлаковых отходов тепловых (ТЭС) и гидроэлектростанций (ГРЭС) в производстве цементов с минеральными добавками.

Установлено, что их физико-механические характеристики зависят от состава используемых материалов, количества минеральной добавки и величины удельной поверхности. Введение в состав цемента 15 % кислых ЗШО позволяет получать материалы хорошего качества [8].

Кроме того, зола уноса пригодна для получения гипсовых вяжущих материалов.

Добавка ее в сырьевую смесь в количестве до 20 % приводит к повышению прочности и водостойкости полученных композиций [10].

Отходы теплоэнергетики можно использовать при производстве различных видов бетонов. Бетоны на основе зольных цементов по своим показателям не уступают бетонам на обычном цементе, а по водонепроницаемости превышают их [8].

Множество работ таких ученых, как Г. А. Федотов, П. И. Поспелов, М. Н. Шафоростова, А. Л. Хохлова, Л. И. Дворкин, А. С. Тимонин, А. С. Носков, С. А. Галич были посвящены вопросу экономической целесообразности строительства автомобильных дорог и их рентабельности – использование золошлаковых материалов в дорожном строительстве.

Кроме того, в данном направлении исследования проводились крупными корпорациями, международными агентствами и организациями: «D.ТЕК», «СООБЩЕСТВО СОБ (социально ответственный бизнес)», PPV Knowledge Networks.

Реальный опыт применения золошлаков в дорожном строительстве свидетельствует о возможности экономии до 30 % средств. Отвальные золошлаковые смеси, шлаковый щебень и золу-унос наиболее эффективно можно использовать в дорожном строительстве, в частности для земляных работ:

– золы-выноса можно использовать для сооружения земляного полотна, отсыпки насыпей и стабилизации грунтов, как медленно твердеющее самостоятельное вяжущее или активную гидравлическую добавку;

– шлаковый щебень может применяться для щебеночных оснований и в качестве заполнителя в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог;

– смесь золошлаковая: для возведения насыпей земляного полотна – заменитель почвы 20–60 тыс. м³ золошлаковых смесей на 1 км дороги; нижние слои основ в качестве дренирующих и морозозащитных слоев – заменитель щебне-песчаных смесей – 5–20 тыс. м³ на 1 км дороги.

Наиболее качественной для практического применения является зола уноса сухого отбора, поскольку она всегда отсортирована по фракциям с помощью

электрических полей электрофильтров. Такая зола может храниться в силосах в сухом виде и применяться в производстве без дополнительной подготовки. Система подачи золы-уноса в бетоносмесительные узлы аналогична трактам подачи цемента.

На основании исследований многих ТЭС, сжигающих топливо различных угольных месторождений, все золошлаковые материалы (ЗШМ) в зависимости от состава можно разделить на три группы: активные, скрытно активные и инертные.

В пределах этих групп ЗШМ распределены по форме содержания кальция в оксиде: общий, свободный, связанный в сульфаты и входящий в состав клинкерных минералов.

Золошлаковые материалы первой группы (активные) способны к самостоятельному твердению, поэтому их можно использовать взамен цемента для устройства оснований из укрепленных грунтов и местных малопрочных каменных материалов. Способностью к самостоятельному твердению обладает только зола-уноса сухого отбора. Ее называют самостоятельным медленно твердеющим вяжущим материалом. От портландцемента она отличается меньшим содержанием клинкерных минералов, отсутствием алита, содержанием минералов низкой активности, извести, ангидрита и полуводного гипса, округлых сплавившихся частиц, оксидов щелочноземельных металлов, наличием стеклообразной фазы и органических веществ, что определяет замедленную гидратацию и замедленное, по сравнению с укрепленным портландцементом, твердение укрепляемых ею материалов.

Активная зола-уноса сухого отбора может быть использована в качестве минерального порошка в производстве пористого и высокопористого асфальтобетона марок I, II и в горячих и теплых смесях марки III для плотного асфальтобетона, а также в бетонах, применяемых для строительства покрытий и оснований дорог.

Золошлаковые материалы второй группы можно также применять для производства асфальтобетона совместно с цементом или в качестве добавок к нему в целях его экономии.

Что касается наиболее распространенных ЗШМ третьей группы (инертных), то они в качестве техногенного грунта могут служить материалом для сооружения земляного полотна, а также для устройства оснований из этих ЗШМ или их смесей с песком, укрепленных цементом.

Таким образом, можно бесконечно перечислять преимущества вовлечения золошлаковых материалов в хозяйственный оборот как ценного минерального сырья техногенного происхождения, пригодного для применения во многих отраслях промышленности.

Целью работы является анализ целесообразности использования ЗШО для производства строительных материалов, а также разработка методического подхода для обнаружения центров гидратации (ЦГ) различной активности на поверхности цементных зерен.

Главные составляющие золошлаковых материалов – это оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO . Небольшая доля приходится на сульфаты CaSO_4 ,

MgSO_4 , FeSO_4 ; в еще меньших количествах присутствуют фосфаты, оксиды щелочных металлов K_2O и Na_2O .

В золошлаковых материалах могут содержаться биогенные (фтор, марганец, кобальт, свинец, медь и др.) и токсические микроэлементы (бор, ванадий, мышьяк, стронций, бериллий и др.).

Химический состав золы может колебаться в значительных пределах при сжигании одного и того же топлива на ТЭС, однако в среднем химический состав золы в течение длительного периода времени можно считать достаточно стабильным для практического применения. Многообразие энергетических топлив приводит к образованию золы самого разнообразного химического состава.

Особую роль в формировании свойств золы играют гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, кальцит CaCO_3 и доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, а также продукты их частичного термического разложения – ангидрит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и свободный оксид кальция CaO . В золах всех типов содержатся сульфаты и карбонаты кальция [1-8].

На основании многочисленных исследований создана база и накоплен промышленный опыт применения золы и шлака ТЭС в производстве цемента. Применение золы и шлака идет по двум основным направлениям – в качестве активной добавки к цементу и в качестве алюмосиликатного компонента цементной сырьевой шихты. Пылевидные золы, получаемые при сжигании углей, могут быть использованы в качестве активной добавки при производстве обычного (добавка золы до 15 %) портландцемента (добавка золы 25-30 %).

Принято считать, что процессу гидратации цемента предшествует растворение цементных минералов в воде [8]. В действительности же на поверхности цементного зерна должны протекать два конкурирующих процесса: растворение цементных минералов (Р) и их гидратация, непосредственно на поверхности, т.е. топохимические реакции (Т). Соотношение скоростей Р:Т (а следовательно, их вклад в формирование и свойства цементного камня) должно зависеть от состава цемента, величины удельной поверхности ($S_{уд}$), ее текстуры, формы и шероховатости.

Можно предполагать, что с ростом $S_{уд}$ вклад процессов (Т) будет возрастать. Исходя из этого, представляет интерес обнаружение на поверхности цементных зерен центров гидратации (ЦГ), обуславливающих протекание процессов (Т).

Активность цементных минералов в процессе гидратации представлена в таблице 1.

Таблица 1. Динамика гидратации клинкерных минералов по Ю. М. Бутту и С. Д. Окорочкову [8, с.137]

Минералы	Степень гидратации, % от полной в течение				
	3 суток	7 суток	28 суток	3 мес.	6 мес.
C_3S	36	46	69	93	94
C_2S	7	11	11	29	30
C_3A	82	82	84	91	93
C_4AF	70	71	74	89	91

Как видно из таблицы 1, основные минералы по активности в процессе гидратации в начальный период твердения цемента можно расположить

в ряд: $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$. Наличие гипса не принимали во внимание, предполагая, что он не гидратируется.

С этой целью исследован процесс гидратации портландцемента в водно-спиртовых растворах различной концентрации.

В качестве исходного материала был взят промышленный образец портландцемента М400; спирт «Септол» (95,4 % спирта этилового по объему), вода дистиллированная.

Навеску сухого цемента (30,0 г) помещали в стеклянный цилиндр и заливали определенным объемом водно-спиртового (ВС) раствора (V_{BC}^0) заданной концентрации (C_{BC}^0 , % спирта объемный).

Цилиндр герметизировали полиэтиленовой пленкой и скотчем и выдерживали при комнатной температуре (18–21 °С) в течение t суток. Каждые 2 суток цементный слой перемешивали.

По истечении времени t измеряли плотность отстоявшегося водно-спиртового раствора ареометром при 20 °С ($\rho_{20, г/см^3}$). После прекращения изменений ρ контролировали этот показатель пикнометрическим методом и переходили к следующей серии измерений с ВС раствором меньшей концентрации C_{BC}^0 .

В последней (5-й) серии использовали только пикнометрический метод измерения ρ_{BC} .

Расчет количества связанной при гидратации воды находили по изменению концентрации спирта в ВС растворе:

$$\Delta V_B^t = V_{BC}^0 (1 - C_{BC}^0 / C_{BC}^t), \text{ мл} \quad (1)$$

где V_{BC}^0 – исходное количество водно-спиртового раствора (мл) с исходной концентрацией C_{BC}^0 (% этилового спирта по объему), C_{BC}^t – концентрация ВС раствора к моменту времени t .

Концентрацию спирта находили по плотности ρ_{20} из справочных таблиц [9, с. 369–370].

При выводе формулы исходили из инертности абсолютного спирта к цементу [10, с. 93]. Результаты исследования приведены в таблице 2.

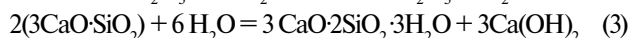
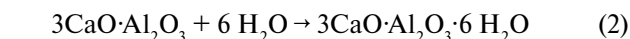
Как видно из таблицы 2, процессы на поверхности (Т) протекают при концентрациях ВС растворов $C_{BC} > 40$ % об. (практически не меняется объем цементного слоя, водоцементное отношение В/Ц $< 0,1$). При $C_{BC} < 30$ % об. преобладают процессы (Р) – растворение с последующей гидратацией. В пользу протекания процессов (Р) свидетельствуют и косвенные признаки: появляется запах сероводорода, усиливается интенсивность окраски цементного слоя, появляется легкая (желто-зеленая) окраска ВС раствора, можно наблюдать гидратные новообразования (при вращении цилиндра над цементным слоем появляется легкая белая муть).

Таким образом, данные таблицы 2 свидетельствуют о наличии двух типов ЦГ на поверхности цементных зерен: в серии 2 при $C_{BC}^0 = 55,1$ % об. (ЦГ₂), в серии 3 при $C_{BC}^0 = 40,3$ % об. (ЦГ₃). Исходя из табл. 1, припишем ЦГ₂ структуру C_3A (C_4AF) и ЦГ₃ структуру C_3S .

Согласно [8] процессам в ЦГ₂ и ЦГ₃ соответствуют следующие реакции гидратации:

Таблица 2. Гидратация портландцемента М 400 водно-спиртовыми (ВС) растворами

Серия	Экспозиция, суток	V_{BC}^0 , мл	$\rho_{20, г/см^3}$	C_{BC}^0 , % об. спирта	Расход воды на гидратацию, ΔV_B^t , мл	Объем цементного слоя, мл	В/Ц
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	100	0,810	95,40	0,00	22,0	0,0
	10	100	0,810	95,40	0,00	22,0	0,0
	20	100	0,810	95,40	0,00	21,0	0,0
	Итого	100	0,810	95,40	0,00	21,0	0,0
2	0	77	0,920	55,10	0,00	22,0	0,0
	2	77	0,919	55,56	0,64	22,0	0,02
	4	77	0,919	55,56	0,64	22,0	0,02
	15	77	0,919	55,56	0,64	22,0	0,02
	30	77	0,919	55,56	0,64	22,0	0,02
	Итого	77	0,920	55,10	0,64	22,0	0,02
3	0	103	0,947	40,30	0,00	22,0	0,02
	3	103	0,946	40,80	1,25	22,5	0,06
	10	103	0,946	40,80	1,25	22,5	0,06
	20	103	0,946	40,80	1,25	22,5	0,06
	Итого	103	0,947	40,30	1,25	22,5	0,06
4	0	105	0,963	29,47	0,00	22,5	0,06
	1	105	0,963	29,47	0,00	23,0	0,06
	10	105	0,963	29,47	0,00	31,5	0,06
	18	105	0,962	30,30	2,88	35,5	0,16
	24	105	0,961	31,13	5,60	37,0	0,25
	32	105	0,961	31,13	5,60	37,0	0,25
	Итого	105	0,963	29,47	5,60	37,0	0,25
5	0	25,8	0,984	10,76	0,00	37,0	0,25
	10	25,8	0,947	40,30	18,91	42,0	0,88
	Итого	25,8	0,984	10,76	18,91	42,0	0,88



Рассчитаем количество ЦГ, исходя из количества связанной в реакциях (2) и (3) воды:

$$n_{\text{ЦГ}} = \Delta V_{\text{в}}^t / n_{\text{в}} \cdot 18, \text{ моль}, \quad (4)$$

где $n_{\text{в}}$ — количество молекул воды, реагирующее с одним ЦГ, а 18 — молекулярная масса воды.

Тогда:

$$n_{\text{ЦГ}2} = \Delta V_{\text{в}2}^t / 6 \cdot 18 = 0,00926 \Delta V_{\text{в}2}^t, \text{ моль} \quad (4a)$$

$$n_{\text{ЦГ}3} = \Delta V_{\text{в}3}^t / 3 \cdot 18 = 0,01852 \Delta V_{\text{в}3}^t, \text{ моль} \quad (4b)$$

Располагая $n_{\text{ЦГ}}$, рассчитаем концентрацию [ЦГ]:

$$[\text{ЦГ}_2] = n_{\text{ЦГ}2} / m_{\text{ц}} = 0,00926 \cdot \Delta V_{\text{в}2}^t / 30 = 3,09 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta V_{\text{в}2}^t, \text{ моль/г}$$

$$[\text{ЦГ}_3] = n_{\text{ЦГ}3} / m_{\text{ц}} = 0,01852 \cdot \Delta V_{\text{в}3}^t / 30 = 6,17 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta V_{\text{в}3}^t, \text{ моль/г}$$

$$C_{\text{цг}2}^m = [\text{ЦГ}_2] \cdot N_{\text{А}} = 3,09 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta V_{\text{в}2}^t \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 1,86 \cdot 10^{20} \cdot \Delta V_{\text{в}2}^t, \text{ г}^{-1}$$

$$C_{\text{цг}3}^m = [\text{ЦГ}_3] \cdot N_{\text{А}} = 6,17 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta V_{\text{в}3}^t \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 3,71 \cdot 10^{20} \cdot \Delta V_{\text{в}3}^t, \text{ г}^{-1}$$

$$C_{\text{цг}2}^s = C_{\text{цг}2}^m / s_{\text{ц}} = 1,86 \cdot 10^{20} \cdot \Delta V_{\text{в}2}^t / 4000 = 4,65 \cdot 10^{16} \cdot \Delta V_{\text{в}2}^t, \text{ см}^{-2}$$

$$C_{\text{цг}3}^s = C_{\text{цг}3}^m / s_{\text{ц}} = 3,71 \cdot 10^{20} \cdot \Delta V_{\text{в}3}^t / 4000 = 9,28 \cdot 10^{16} \cdot \Delta V_{\text{в}3}^t, \text{ см}^{-2}$$

Здесь $m_{\text{ц}} = 30$ г — исходная масса цемента;

$\Delta V_{\text{в}2}^t$ и $\Delta V_{\text{в}3}^t$ — количество воды, израсходованное на гидратацию ЦГ₂, ЦГ₃, соответственно;

$N_{\text{А}}$ — число Авогадро [9, с. 335];

$S_{\text{ц}} = 4000 \text{ см}^2/\text{г}$ — удельная поверхность цемента [8, с. 123];

Результаты сведены в таблице 3. Здесь же приведена доля поверхности, занятой ЦГ, в удельной поверхности цемента:

$$S_{\text{ЦГ}} = C_{\text{цг}}^s \cdot S_{\text{ц}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

где $s_{\text{цг}}$ — поверхность одного ЦГ ($\text{см}^2/\text{шт}$), $s_{\text{ц}}$ — удельная поверхность цемента.

$s_{\text{цг}}$ рассчитали, используя представления о строении силикатов и алюминатов [12, с.132–141] и значения ионных радиусов [12, с.133, 12, с.22]:

Ион	Si^{4+}	Al^{3+}	Ca^{2+}	O^{2-}
R, Å	0,39	0,57	1,06	1,32

Получены значения: $s_{\text{ЦГ}2} = 103,6 \text{ Å}$, $s_{\text{ЦГ}3} = 43,0 \text{ Å}$

Как видно из табл.3, доля поверхностных центров гидратации (S) на много порядков меньше доли соответствующих минералов в портландцементе [8–12]: 40–60 % $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; 4–14 % $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; 10–18 % $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Следовательно, для исследованного образца портландцемента вклад топохимических реакций (присоединения воды непосредственно к твердому веществу) в процесс твердения будет незначительным.

Таблица 3. Концентрация обнаруженных центров гидратации (ЦГ) на поверхности зерен портландцемента М 4000

Показатель	ЦГ ₂	ЦГ ₃
Концентрация [ЦГ], моль/г	$1,98 \cdot 10^{-4}$	$7,78 \cdot 10^{-4}$
$C_{\text{цг}}^m$, шт/г	$1,19 \cdot 10^{20}$	$4,67 \cdot 10^{20}$
$C_{\text{цг}}^s$, шт/см ²	$2,98 \cdot 10^{16}$	$1,87 \cdot 10^{17}$
Доля поверхности, занятая ЦГ ($S_{\text{цг}}$), %	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$

ВЫВОДЫ

Применение ЗШО потенциально способно преобразовать отрасль строительства и производства стройматериалов. Предотвращения загрязнения окружающей среды и отвлечения ценных земельных ресурсов — это использовать золошлаковые материалы для производства строительных материалов. Разработан несложный способ оценки концентрации центров гидратации на поверхности зерен портландцемента. Для исследованного образца концентрация центров гидратации на поверхности на много порядков ниже концентрации соответствующих клинкерных минералов. Следовательно, вклад топохимических реакций в процессе твердения данного образца будет незначительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Круглый стол» на тему «Законодательное регулирование использования золошлаковых отходов угольных ТЭС» [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14014> (дата обращения 24.11.2022).
2. Афанасьева, О. В. Комплексное использование золошлаковых отходов / О. В. Афанасьева, Г. Р. Мингалева, А. Д. Добронравов, Э. В. Шамсутдинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7–8. С. 26–36.
3. Подгородецкий, Г. С. Проблемы и перспективы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ. Ч. 1 / Г. С. Подгородецкий, В. Б. Горбунов, Е. А. Агапов, Т. В. Ерохов, О. Н. Козлова // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 6. С. 439–446.
4. Yao Z.T. A comprehensive review on the applications of coal fly ash / Yao Z.T., Ji X.S., Sarker P.K., Tang J.H., Ge L.Q., Xia M.S., Xi Y.Q. // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 141. P. 105–121.
5. Губарь, В. Н. Способы повышения качества золы-уноса ТЭС, применяемой в высококачественных бетонах / В. Н. Губарь, И. Ю. Петрик, А. В. Жибоедов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 63–70.
6. Мальчик, А. Г. Исследование технологии переработки золошлаковых отходов ТЭС при производстве строительных материалов / А. Г. Мальчик, С. В. Литовкин, П. В. Родионов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3. С. 60–64.
7. Братчун, В. И. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов. — Макіївка-Харків: ДонНАБА, 2011 — 336 с.
8. Горчаков, Г. И. Строительные материалы. — М.: Высшая школа, 1980. — 412 с.
9. Перельман, В. И. Краткий справочник химика / В. И. Перельман. — М.: Госхимиздат, 1956. — 559 с.
10. Буров, Ю. С. Лабораторный практикум по курсу «Минеральные вяжущие вещества» / Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. М.: Стройиздат, 1974. — 251 с.
11. Мануйлов, Л. А. Физическая химия и химия кремня / Л. А. Мануйлов, Г. И. Клюковский. — М.: Высшая школа, 1962. — 311 с.
12. Кривенко, П. В. Строительное материаловедение / П. В. Кривенко. — Киев: «Основа», 2007. — 704 с.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ДНР

И. В. Сычева; Н. И. Бурау; И. А. Ванин

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В данной статье рассматриваются современные подходы к управлению стоимостью инвестиционно-строительного проекта в рамках реализации федерального проекта «Цифровое государственное управление». Большое внимание уделяется технологиям информационного моделирования и перспективам, связанным с их массовым применением на всех этапах жизненного цикла проекта. С учетом того, что технологии информационного моделирования постепенно становятся неотделимой частью управления проектами, рассмотрены вопросы стоимостного моделирования инвестиционно-строительных проектов. Выполнен анализ, выявлены преимущества и недостатки системы стоимостного инжиниринга в условиях цифровой трансформации строительной отрасли. Рассмотрена возможность использования в Донецкой Народной Республике федеральной Государственной информационной системы ценообразования в строительстве. Обосновано, что для эффективного управления стоимостью инвестиционно-строительных проектов в Донецкой Народной Республике должна быть создана соответствующая законодательная база.

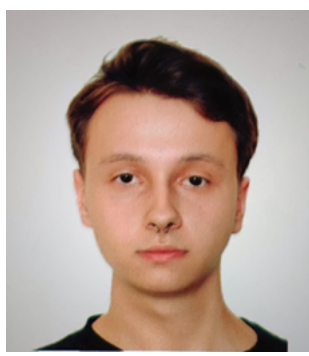
Ключевые слова: цифровая экономика, цифровизация строительства, трансформация строительной отрасли, инвестиционно-строительный проект, стоимостной инжиниринг, стоимость, смета, ресурсы, технология информационного моделирования, информационная модель



Сычева И.В.



*Бурау
Никита Игоревич*



*Ванин
Иван Андреевич*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Цифровизация строительства — это процесс перевода всех строительных процессов в цифровой формат, а также использование современных технологий для сокращения сроков и повышения качества строительства. Строительные компании Донецкой Народной Республики, желающие получить конкурентные преимущества на современном строительном рынке услуг и при этом оптимизировать бизнес-процессы, уже сейчас активно внедряют процесс цифровизации на всех этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта. Правительство ДНР также заинтересовано в цифровой трансформации строительной отрасли, являющейся одной из системообразующих для экономики Республики, и поэтому выступает инициатором в законодательной сфере. Надлежащий уровень цифровой трансформации строительной отрасли является залогом социального и экономического развития Донецкой Народной Республики, в особенности в условиях ускорения процессов интеграции Республики с Российской Федерацией.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИ

Вопросы управления стоимостью инвестиционно-строительных проектов в условиях цифровой трансформации строительной отрасли и проблемы,

при этом возникающие, нашли отражение в работах различных российских и зарубежных ученых. Исследованию проблемы управления стоимостью инвестиционно-строительных проектов посвящены работы Г. Бирмана, М. М. Герасимова, И. И. Мазур, В. Д. Шапира, Н. А. Тархановой.

Проблемы цифровизации строительной отрасли рассмотрены в работах А. П. Добрынина, В. И. Малахова, А. В. Федоровой. Исследованию вопросов эффективного внедрения технологий информационного моделирования в сфере строительства посвящены работы В. В. Шарманова, А. Е. Мамаева, В. В. Талапова и других ученых.

Целью исследования является выявление особенностей управления стоимостью инвестиционно-строительного проекта в условиях цифровой трансформации строительной отрасли ДНР.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Цифровую трансформацию строительства следует рассматривать в общем контексте модернизации и перехода всех сфер экономики Донецкой Народной Республики на новый технологический уровень. Указом Президента Российской Федерации В. В. Путина от 21 июля 2020 года № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» одной из национальных целей развития Российской Федерации определена цифровая трансформация. В рамках данной цели поставлена задача обеспечить достижение «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики и социальной сферы, в том числе строительной отрасли. Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам утвержден паспорт национального проекта «Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». В рамках указанного национального проекта реализуется федеральный проект «Цифровое государственное управление», задачами которого, в том числе, являются: внедрение системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства на основе технологий информационного моделирования («Цифровое строительство»), обеспечение законодательных, правовых и методических основ для такого управления. Правительством Российской Федерации утверждено стратегическое направление в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года [1].

ДНР подхватывает общероссийский тренд на цифровизацию. Сейчас на базе регионального министерства связи создан Республиканский Центр информационных технологий, который отвечает за процессы цифрового развития и информатизации. Планируется к концу 2022 года в нескольких ведомствах запустить пилотный проект электронного документооборота с перспективой масштабировать его на все ведомства Республики.

Цифровая трансформация строительной отрасли — это процесс, отражающий переход отрасли из одного технологического уклада в другой посредством широкомасштабного использования цифровых и

информационно-коммуникационных технологий с целью повышения уровня ее эффективности и конкурентоспособности [2]. В рамках цифровой трансформации определены основные задачи и целевые результаты развития цифровой системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства на основе технологий информационного моделирования («Цифровое строительство») (рис.1).

Практической основой цифровой трансформации инвестиционно-строительной сферы являются различные цифровые инструменты и системы, внедряемые в деятельность компаний. Использование программно-аппаратных средств и программного обеспечения отечественного производства является главным приоритетом при обеспечении цифровой трансформации на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. В ходе реализации стратегического направления предусмотрено внедрение технологий информационного моделирования объектов (ТИМ). Технология предусматривает возможность выгрузки данных в универсальных форматах для представления информационной модели объекта капитального строительства на экспертизу, выдачи разрешения на строительство, ввода сооружений в эксплуатацию, а также для проведения строительного надзора.

Понятие «информационная модель объекта капитального строительства» закреплено в Градостроительном кодексе Российской Федерации [3] и выступает в качестве главного источника информации по проекту строительства, что является сутью концепции применения ТИМ.

С 1 января 2021 года застройщики и заказчики должны обеспечивать формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства при заключении договора о подготовке проектной документации для строительства или реконструкции объекта, финансируемого с привлечением бюджетных средств. Крупнейшими реализованными проектами в России с использованием ТИМ стали олимпийские объекты в Сочи, футбольные стадионы к Чемпионату мира по футболу 2018 года, космодром Восточный и другие. Внедрение ТИМ осуществляется на базе Государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации (далее — ГИСОГД) [4], которая включает в себя классификатор строительной информации, реестр документов в области инженерных изысканий, проектирования, строительства и сноса.

По оценкам экспертов, переход на цифровое строительство должен снизить затраты и время на реализацию проекта строительства на 20 %, срок от принятия решения о строительстве до ввода объекта в эксплуатацию — на 30 %, снизить себестоимость строительства на 10-15 %.

Однако, несмотря на принятые законодательные решения, необходимо выделить проблемы, препятствующие быстрому переходу строительной отрасли на цифровые технологии:

- высокая стоимость специального программного обеспечения и риски неуспешного внедрения новых цифровых технологий;



Рис. 1. Основные задачи и целевые результаты развития цифровой системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства «Цифровое строительство»

– недостаток квалифицированных кадров, обладающих необходимой компетенцией для эффективного использования цифровых систем;

– низкий уровень применения цифровых технологий отдельными участниками строительной отрасли (поставщики строительных материалов, подрядные организации) и их незаинтересованность;

– отсутствие взаимодействия различных информационных систем в строительстве.

Кроме того, существуют трудности с ведением региональных ГИСОГД, в частности с размещением пространственных данных, ввиду отсутствия требований к структуре и форматам необходимых документов.

Технологии информационного моделирования – это технология объединения цифровых инструментов управления инвестиционно-строительным проектом, включающая этап создания объекта недвижимости и управления его жизненным циклом после начала эксплуатации. Именно такая проектная специфика объединяет задачи управления жизненным циклом будущего объекта недвижимости и задачи концептуального проектирования и требует сквозного инструментария для эффективного связывания этих главных этапов проекта. Между тем, ТИМ – это не просто концепция повышения эффективности управления объектом на протяжении всего жизненного цикла, это интегральный подход комплексного управления инвестиционно-строительным проектом как в процесс создания, так и в процессе эксплуатации, который обязательно вклю-

чает возможность подключаться всем участникам проекта и участвовать в реализации проекта путем электронного взаимодействия [5]. Управление проектом через ТИМ-среду предполагает возникновение абсолютно новых отношений среди участников инвестиционно-строительного проекта в частности и в строительной отрасли в целом. Формирование механизмов технической интеграции и межличностных отношений участников строительства с разработчиками ИТ-продукта, возможность привязки к единой ТИМ-платформе открывают эффективные возможности в управлении инвестиционно-строительным проектом, начиная от комплексного решения задач стоимостного инжиниринга на протяжении всего жизненного цикла проекта и заканчивая инжинирингом информационных моделей с применением блокчейн технологий. При подготовке информационных моделей необходимо учитывать, что стоимость таких работ поначалу на 20-40 % превышает стоимость разработки стандартной проектной документации. Трудозатраты поначалу тоже выше, но затем они снижаются в разы за счет использования библиотеки типовых решений, применения классификатора строительной информации и классификаторов строительных материалов.

Информационная модель объекта капитального строительства является совокупностью взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на всех этапах жизненного цикла данного объекта [6]. Следовательно, информацион-

ное моделирование зданий в широком смысле представляет собой инструмент управления жизненным циклом объекта строительства на основе его информационной модели или инструмент управления информацией об объекте. Управление подразумевает все виды работы с информацией: сбор, формирование, анализ, обмен и материальное воплощение [7].

Изначально информационное моделирование воспринималось исключительно как инструмент для создания 3D модели здания. Но в настоящее время информационное моделирование охватывает не только 3D проектирование, но и информацию о стоимости, графике строительных работ, данные об окружающей среде, а также совокупность всевозможных параметров, необходимых для эффективного управления объектом недвижимости. Общепринятая классификация моделей по степени насыщенности информацией или же по измерению показана на рис. 2.

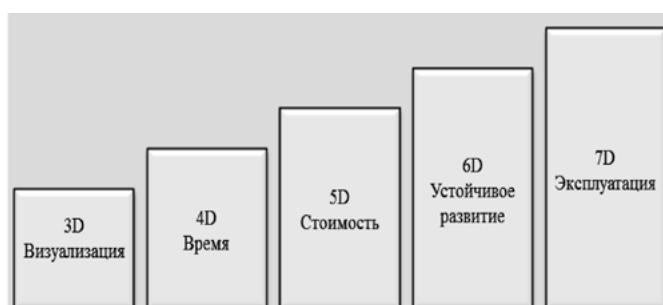


Рис. 2. Классификация моделей по измерению

3D уровень предназначен для пространственной трехмерной визуализации объектов, он отражает преимущественно информацию о геометрических параметрах. Для данного уровня разработан ряд программных продуктов: Autodesk Revit, Dynamo, Renga и др.

4D дополняется данными о временном измерении, то есть позволяет планировать, моделировать движение материалов и рабочих [8]. Составление графиков строительства — основное применение 4D на сегодняшний день. Данные графики используются в качестве эффективного средства управления процессом производства строительных работ.

5D содержит дополнительно информацию о стоимости и экономическом планировании, позволяет рассчитывать сметную стоимость строительства. Целью создания 5D-модели является разработка плана затрат, который может корректироваться с определенной периодичностью с использованием текущей информации о модели. Данная стоимостная модель может использоваться для проведения торгов, оценки вариантов, оплаты промежуточных платежей во время строительства и эксплуатации здания [9]. При сопряжении на основе ТИМ-модели данных сметных расчетов с календарно-сетевым планированием производства работ формируется единое информационное поле проекта, в котором можно быстро решать все задачи финансового планирования, возникающие в процессе проектирования, строительства и эксплуатации объекта. Использование 5D-моделирования

является одним из основных инструментов управления стоимостью инвестиционно-строительных проектов. Для интеграции сметной информации в ТИМ-проекты и передачи стоимостных показателей в системы календарного планирования используется программный продукт 5D Смета. Программа позволяет автоматизировать расчет объемов работ и стоимости по каждому элементу ТИМ-модели, сокращает сроки, повышает качество и точность составления сметных документов.

6D представляет собой модель с учетом устойчивого развития и экологического проектирования. Появление данного вида модели связано с актуальностью проблем экологии и окружающей среды [10].

7D-модель используется на стадии эксплуатации объекта капитального строительства.

С учетом того, что технологии информационного моделирования постепенно становятся неотделимой частью управления инвестиционно-строительными проектами, необходимо рассмотреть такое понятие, как «стоимостное моделирование инвестиционно-строительных проектов». Моделирование стоимости проекта на всех этапах жизненного цикла содержит и операции по первоначальному инжинирингу стоимости, и по управлению стоимостью в процессе создания или изменения объекта недвижимости, и корректировке стоимости при реконструкции, техническом перевооружении. Таким образом, можно определить стоимостное моделирование инвестиционно-строительного проекта как совокупность операций по приведению ценовых параметров объекта недвижимости в соответствие с инвестиционными целями и задачами проекта [5].

Управление стоимостью проектов тесно связано с понятием стоимостного инжиниринга инвестиционно-строительных проектов. Понятие «стоимостной инжиниринг» трактуется как управляющая система, основанная на нормативно-правовой и методической документации, охватывающая все направления деятельности по производству стоимостных расчетов и всех участников инвестиционно-строительного проекта. О. П. Полякова, А. Ю. Загородина, Н. А. Тарадина считают, что стоимостной инжиниринг — это комплекс (совокупность) методов и средств управления стоимостью инвестиционного проекта на всех этапах его жизненного цикла, включающий в себя формирование бюджета проекта (бюджетное планирование), оценку эффективности капитальных вложений (инвестиционную оценку), сметное ценообразование, экспертизу (проверку достоверности определения сметной стоимости строительства), формирование стоимости строительства, стоимостной контроль процесса реализации проекта, анализ фактических затрат.

Таким образом, целесообразно под стоимостным инжинирингом понимать самостоятельную область профессиональной деятельности, в которой производят стоимостные расчёты на любых этапах инвестиционно-строительного проекта, определяющие экономические отношения между его участниками.

Управление стоимостью проекта включает в себя процессы, необходимые для обеспечения и гарантии того, что проект будет выполнен в рамках утвержден-

ного бюджета. Управление стоимостью проекта связано с четырьмя аспектами: планирование ресурсов, составление сметы, составление бюджета проекта, контроль стоимости. Соблюдение всех этих этапов позволяет завершить проект в рамках запланированных сроков и при полном достижении всех заранее определенных результатов.

Объектом формирования системы управления стоимостью является последовательная совокупность стоимостных оценок проекта, которые являются документами проекта и фиксируются как предельные, целевые, максимальные или иные стоимости. Стоимостная оценка – это оценка вероятной стоимости тех ресурсов, которые потребуются для выполнения работ, предусмотренных проектом. На рисунке 3 показана система стоимостного инжиниринга, условно разделенная на семь подсистем.

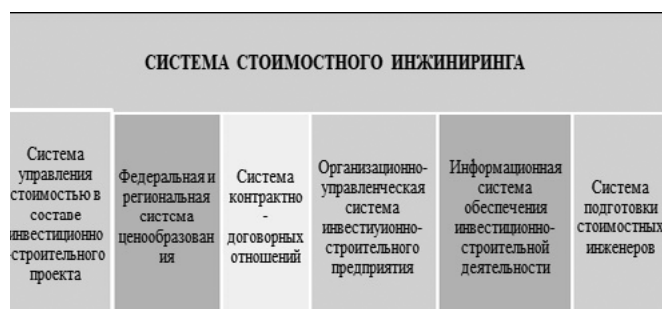


Рис. 3. Система стоимостного инжиниринга

В условиях цифровой трансформации строительной отрасли каждая из подсистем стоимостного инжиниринга играет ключевую роль в управлении стоимостью инвестиционно-строительного проекта.

Рассмотрим более детально федеральную Государственную информационную систему ценообразования в строительстве (далее – ФГИС ЦС). Основная задача ФГИС ЦС – обеспечение процесса государственного мониторинга цен строительных ресурсов в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2016 года № 1452 «О мониторинге цен строительных ресурсов» (далее – Постановление № 1452) [11]. Цели создания ФГИС ЦС и способы их достижения определены Постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2016 года № 959 «О федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве» (далее – Постановление № 959) [12]. Основной целью создания информационной системы ФГИС ЦС является информационная поддержка процесса и порядка определения сметной стоимости строительства объектов капитального строительства, финансируемых с привлечением государственных средств. Создание системы призвано обеспечить:

1. Повышение достоверности и прозрачности определения стоимости строительства на всех стадиях инвестиционно-строительного проекта;
2. Оптимизацию стоимости строительства;
3. Повышение стабильности рынка строительства;
4. Улучшение конкурентного климата на рынке строительных ресурсов;

5. Сокращение сроков при составлении сметных расчетов без потери точности расчетов;

6. Стимулирование импортозамещения в строительстве;

7. Стимулирование применения инновационных технологий строительства.

Для формирования сметной стоимости строительства с использованием технологии информационного моделирования в информационной системе размещена актуальная информация в машиночитаемом формате:

1. Классификатор строительных ресурсов;
2. Сметно-нормативная база, которая позволяет корректно перезаписывать информационное наполнение базы данных программных комплексов сметного программного обеспечения;
3. Действующие методики: опубликовано 32 методических документа;
4. Укрупненные нормативы цены строительства, состоящие из 21 сборника;
5. Перечень юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, которые занимаются изготовлением и поставкой строительной продукции. Информация содержит места расположения производственных мощностей по изготовлению строительной продукции в привязке к интерактивной карте;
6. Данные о среднемесячных размерах оплаты труда рабочих, занятых в строительной отрасли, в разрезе субъектов Российской Федерации;
7. Данные о привязке нормативов накладных расходов и сметной прибыли;
8. Информационные материалы (новости, статьи, инструкции, ответы на актуальные вопросы, обучающие материалы).

Основой для перехода на ресурсно-индексный метод определения сметной стоимости строительства является количественное и качественное наполнение ФГИС ЦС данными о стоимости строительных ресурсов. Существующий сбор данных от производителей, импортеров и перевозчиков дополнен сбором данных от государственных компаний, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, юридических лиц, осуществляющих деятельность по оптовой торговле.

В соответствии с Планом мероприятий по совершенствованию ценообразования в строительной отрасли Российской Федерации [13] со второго квартала 2022 года выполняется переход на ресурсно-индексный метод определения сметной стоимости строительства. При ресурсно-индексном методе источниками формирования сметной стоимости в текущем уровне цен одновременно являются данные о сметных ценах из ФГИС ЦС и сметные цены в базисном уровне цен (в ценах 2021 года) с индексами к группам однородных ресурсов, а также информация об установленном уровне нормируемой заработной платы рабочих-строителей в разрезе субъектов Российской Федерации.

Планируется, что такой подход позволит значительно увеличить точность определения сметной стоимости строительства, тем самым решить одну из основных проблем, препятствующих быстрому переходу строительной отрасли на цифровые технологии.

Планом мероприятий предусмотрено дальнейшее развитие ФГИС ЦС. Уже доступны и планируется дальнейшее развитие и наполнение следующих сервисов: автоматизация процессов расчета, размещение индексов изменения сметной стоимости строительства и индексов к элементам затрат; возможность предоставления информации в систему с использованием открытых каналов связи; дополнительная интеграция через сервисы системы межведомственного электронного взаимодействия с различными информационными системами.

В результате развития ФГИС ЦС созданы все необходимые инструменты для увеличения количественного и качественного наполнения системы данными о стоимости строительных ресурсов, что является основой для перехода на ресурсно-индексный метод определения сметной стоимости строительства. Такой переход, в свою очередь, откроет возможности полноценного использования технологий информационного моделирования, в частности 5D-моделирование, по управлению стоимостью на всех этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.

Но технология информационного моделирования — это не просто многомерная визуализация объектов в формате 3D, 4D или 5D. Все чаще используются такие понятия как «цифровой двойник» и «умная цифровая тень». Если цифровой двойник — это информационная модель, которая позволяет изучать поведение объекта в разных моделируемых ситуациях, в том числе таких, каких не бывает в естественных условиях, то умная цифровая тень все же ближе к реальному объекту. Посредством обработки данных, поступающих с датчиков на объекте, цифровая тень позволяет анализировать состояние объекта как в реальном времени, так и на основе прогнозных ситуаций, что позволяет принимать оперативные решения, в том числе и по изменению стоимости объекта.

Цифровизация в строительстве — это не только управление стоимостью инвестиционно-строительных проектов с использованием технологий информационного моделирования.

Еще одна перспективная технология — промышленный интернет вещей: «умные каски», «умные вещи». Целью применения такой технологии непосредственно на строительной площадке является отслеживание локаций работников при заходе в опасные зоны, объективная оценка количества рабочего времени, проведенного на площадке и затраченного на выполнения определенного вида работ за одну рабочую смену, контроль фактической работы строительной техники. По результатам экспериментального внедрения технологии «умных вещей» производительность труда повысилась на 20 %, простой строительной техники сократился на 15 %, тем самым затраты труда и стоимость эксплуатации строительных машин снизилась в целом по объекту на 18 %. По полученным таким путем данным можно спрогнозировать вероятность отставания от графика работ или, напротив, его опережения и разработать рекомендации для принятия управленческих решений, в том числе и по управлению стоимостью инвестиционно-строительного проекта.

Поэтому, именно интенсификация цифровой трансформации выступает важным условием поддержания и повышения конкурентоспособности инвестиционно-строительной сферы Российской Федерации. Интеграция ДНР как нового субъекта Российской Федерации в экономическую, финансовую, кредитную и правовую системы позволит ускорить процесс цифровизации строительной отрасли Республики. Разработка нормативно-правовой базы системы ценообразования ускорит процесс интегрирования строительной отрасли Республики в федеральную Государственную информационную систему ценообразования в строительстве.

ВЫВОДЫ

Таким образом, особенностью управления стоимостью инвестиционно-строительного проекта в условиях цифровой трансформации строительной отрасли является стоимостное моделирование на всех этапах жизненного цикла проекта. Развитие и полноценное наполнение федеральной Государственной информационной системы ценообразования в строительстве ускорит процесс перехода на ресурсно-индексный метод определения сметной стоимости с использованием технологии информационного моделирования. На этапе интеграции экономики Донецкой Народной Республики в федеральную экономическую систему Российской Федерации внедрение цифровых технологий позволит обеспечить цифровое взаимодействие с заказчиком, подрядчиками и эксплуатирующими организациями, тем самым повысить качество управленческих решений, сократить сроки строительства, снизить себестоимость инвестиционно-строительного проекта, что в целом положительно отразится на инвестиционной привлекательности строительной отрасли Республики.

Список литературы

1. Распоряжение № 3883-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года» [Электронный ресурс] // Правительства РФ 27.12.2021. — 33 С. — Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112290003?index=32>
2. Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://digital.gov.ru/ru/documents/7342/?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f, (дата обращения: 23.11.2022).
3. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (в актуальной редакции) [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 23.11.2022).
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2020 года № 1558 «О государственной информационной системе обеспечения градостроитель-

- тельной деятельности Российской Федерации» [Электронный ресурс] / — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 23.11.2022).
5. Малахов, В. И. Современные технологии управления проектами в строительстве. М. 2018. [Электронный ресурс] URL: [https://samovod.ru/upload/iblock/098/2018-02-Современные%20технологии %20УСП.pdf](https://samovod.ru/upload/iblock/098/2018-02-Современные%20технологии%20УСП.pdf) (дата обращения: 23.11.2022).
 6. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» [Электронный ресурс] / Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. N 928/пр и введен в действие с 1 июля 2021 г. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573514520>
 7. Кривой, С. А. Взаимосвязь BIM-сценариев в рамках инвестиционно-девелоперского проекта [Текст] / А. С. Кривой, А. И. Семин, А. В. Попов, Б. О. Бебякин // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. — №2(65). — С. 20-39.
 8. Рыженкова, М. В. Исследование этапов BIM моделирования [Электронный ресурс] / М. В. Рыженкова, В. А. Кривенцов // E-Scio. 2021. — №5 (56). — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-etapov-bim-modelirovaniya>
 9. Smith P. Project cost management with 5D BIM // Procedia - Social and Behavioral Sciences. — 2016. — Pp. 193-200.
 10. Hussain M. Habib, Kadhim R. Erzaij. Employ 6D-BIM Model Features for Buildings Sustainability Assessment // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. — 2021. — Pp. 193-200.
 11. Постановлением № 1452 «О мониторинге цен строительных ресурсов» [Электронный ресурс] / Правительства РФ 23.12.2016. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420387425>
 12. Постановлением № 959 «О федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве» [Электронный ресурс] / Правительства РФ 23.09.2016 — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420376813>
 13. План мероприятий по совершенствованию ценообразования в строительной отрасли Российской Федерации [Электронный ресурс] / утв. Правительством РФ 10.12.2020 N 11789п-П16 — Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/plan-meroprijatii-po-sovershenstvovaniiu-tsenoobrazovanija-v-stroitelnoi-otrasli-rossiiskoi/>

УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОТХОДАМИ ФЛЮСО-ДОЛОМИТНОГО КОМБИНАТА

С. Е. Гулько, д.т.н., профессор; Д. В. Мачикина

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная проблема поиска альтернативных способов снижения жёсткости воды для потребностей предприятий Донецкого региона. Изучена возможность применения отходов флюсо-доломитного комбината для умягчения воды, подаваемой в котельные и теплосети региона. Приведены результаты экспериментальных исследований возможности и эффективности применения отходов флюсо-доломитного комбината для умягчения воды. Приведены результаты исследования и сравнительный анализ применения сырья и отходов флюсо-доломитного комбината для умягчения воды.

Ключевые слова: жёсткость воды, умягчение воды, карбонатные породы, отходы ФДК, сорбент



Гулько
Сергей
Евгеньевич



Мачикина
Дарья
Владимировна

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для очистки сточных вод от неорганических и органических загрязнителей применяют разные методы: механические, химические, физико-химические (коагуляционные, сорбционные, флотационные, ионообменные, экстракционные, мембранные и биохимические) [1-4]. Вода, подаваемая в котельные, — сложная динамическая экогеохимическая система, в составе которой присутствуют растворённые газы, минеральные и органические вещества [1]. Для уменьшения концентрации газов и различных веществ вода проходит различные этапы предварительной водоподготовки. Несмотря на большое количество методов водоподготовки, в воде присутствуют остаточные содержания компонентов, что в процессе работы теплотехнического оборудования приводит к образованию накипи и коррозии металлов [11]. Основным компонентом низкотемпературных отложений, образующихся на поверхностях нагрева водогрейного оборудования, является карбонат кальция. При использовании воды в подогревателях горячего водоснабжения без предварительной подготовки может образовываться значительное количество накипных отложений. Кроме карбоната кальция в составе таких отложений могут присутствовать оксиды железа, сульфат кальция, силикаты, фосфаты и др. [7, 8, 11].

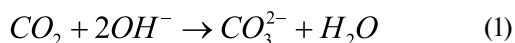
Отложения, обладая низкой теплопроводностью, приводят к значительному перерасходу энергии, необходимой на поддержание температурного режима в теплосетях. Как следствие, происходит перерасход топлива и увеличение объёмов образования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, что ухудшает санитарно-гигиеническое качество воздуха и приводит к ухудшению здоровья населения урбанизированных территорий. Кроме вышеизложенного, применение воды с повышенной жёсткостью приводит к ускорению процесса износа оборудования теплосетей и увеличению затрат на капитальный и текущий ремонт [5,6].

Для предотвращения вышеизложенного существует и применяется ряд методов предварительной водоподготовки. Однако, в современных условиях Донецкого региона, существует еще один существенный недостаток: высокая стоимость реагентов и дорогостоящий импорт необходимого сырья для потребностей местных предприятий.

Целью исследования является изучение возможности и эффективности применения сырья и производственных отходов флюсо-доломитного комбината для умягчения воды.

Изложение основного материала. Для умягчения воды и, как следствие, для минимизации негативного воздействия соединений кальция и магния на тепловые сети и теплогенерирующие оборудование, разработан ряд способов умягчения воды: реагентный, термический и катионитовый. Реагентный способ используется при общей жёсткости исходной воды 5-35 ммоль/дм³, катионитовый —

до 15 ммоль/дм³, а термический, если карбонатная жёсткость определяется в основном гидрокарбонатом кальция, а некарбонатная только гипсом CaSO₄. Из реагентных методов умягчения воды наиболее распространён известково-содовый [4, 12, 13]. Он заключается в переводе растворимых солей Ca²⁺ и Mg²⁺ в малорастворимые соединения CaCO₃ и Mg(OH)₂ действием гашёной извести Ca(OH)₂. Введение Ca(OH)₂ в воду вызывает реакцию с растворённым в воде диоксидом углерода (1):



Карбонат-ион с ионом кальция образует осадок (2):



Если ввести в воду избыток извести, то проходит реакция с гидрокарбонат-ионами (3):



а также образуется малорастворимый гидроксид магния (4):



Известково-содовый метод характеризуется высокой эффективностью. Но его применение для умягчения воды на предприятиях водоподготовки Донецкой Народной Республики осложняется необходимостью импорта реагентов. В связи с этим изучение возможности применения местного сырья и продукции местных предприятий для снижения жесткости воды представляет собой актуальную научную задачу, решение которой даст в перспективе положительный экономический и социальный эффект для развивающегося региона.

Объектом исследования была выбрана продукция Докучаевского флюсо-доломитного комбината: известняк (класс крупности 50-80 мм, обозначен «№ 1»), известняк (класс крупности 0-10 мм, обозначен «№ 2»), доломит (класс крупности 10-50 мм, обозначен «№ 3»), доломитизированный известняк (класс крупности 10-50 мм, обозначен «№ 4»), строительный щебень (обозначен «№ 5»), отходы производства (обозначен «№ 6»).

Продукция Докучаевского флюсо-доломитного комбината характеризуется следующими показателями: массовая доля окислов кальция и магния в известняках составляет 53-55 %, массовая доля нерастворимого остатка — от 1,3 до 4 %. Массовая доля фосфора в пределах 0,01 %, серы — 0,03-0,07-0,15 %. Массовая доля оксида магния в доломите от 15 до 18,5 %, оксида кремния 0,6-1,2 %, доля оксидов алюминия и железа в сумме 0,5-0,8 %.

Доломит — порообразующий минерал класса карбонатов. По своей химической формуле представляет собой CaCO₃·MgCO₃. До настоящего времени основными областями применения доломита являлось дорожное и жилищное строительство (доломит как наполнитель для асфальтобетонного покрытия и основа шлакоблоков для низкоэтажного строительства). Кроме того, доломитовая мука традиционно используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения для известкования почв. Внесение в почву известняковых удобрений устраняет ее избыточную

кислотность, вредную для многих сельскохозяйственных культур.

Анализ современных разработок в области применения доломита показал, что данное сырьё применяется для локализации проникновения техногенной меди в почву [18] как фильтрующий материал (для очистки воды от железа, марганца, фтора, сероводорода) [18]. Также, на основании свойств доломита был изобретён способ бездамбового хранения и утилизации отходов золотодобычи в условиях муссонного климата и горного рельефа [18]. Способ позволяет повысить эффективность складирования и хранения «хвостов» обогатительной фабрики, снизить опасность техногенного загрязнения экосистем в процессе освоения минеральных ресурсов. Способ включает смешивание «хвостов» обогатительной фабрики с карбонатами, с последующим их хранением без строительства дамбы. Наряду с вышеперечисленными способами имеется целый ряд разработок применения доломита в сельском хозяйстве [18] и в строительной сфере [18].

Также, доломит и аналогичные ему карбонатные породы были изучены в качестве сорбентов для очистки воды от тяжелых металлов [19]. Физико-химические особенности карбонатных пород позволили сделать вывод о перспективности применения доломита в качестве перспективного сорбента-ионообменника для очистки воды от растворимых соединений тяжелых металлов, однако, в работе [19] была изучена эффективность улучшения процесса сорбции, был применен метод воздействия ультразвуковыми волнами на кипящий слой доломита. Исследования показали, что создание «кипящего слоя» под действием ультразвуковых колебаний приводит к значительному усилению сорбционной активности, связанной с активированием поверхности доломита, сокращением кристаллизацией, соосаждением растворимых примесей с продуктами соударения частиц доломита. За 10 с. воздействия ультразвука концентрация меди (II) понизилась в 4,8 раза, что даёт существенные преимущества по отношению к механическому воздействию на доломит в кипящем слое.

Несмотря на широкий спектр применения карбонатных пород в различных сферах ранее не была изучена возможность применения доломита в качестве сорбента для умягчения воды, что позволило сделать вывод о перспективности изучения и проведения исследований. Также, ранее не были изучены полезные свойства и способы применения отходов флюсо-доломитного производства.

Оценку эффективности карбонатных пород как сорбентов проводили для поверхностных вод.

Для умягчения исследуемой воды использовали карбонатные породы, являющиеся сырьем, продукцией и отходами Докучаевского флюсо-доломитного комбината, предварительно измельчали с помощью ударно-дисковой электромельницы (Тип 214, VEB Spezialmaschinenbau) и рассеивали по классам крупности с использованием вибрационного грохота (ANALYSETTE 3 PRO). Для исследования использовали образцы с классом крупности 2-3 мм. Масса навески 0,522 г (рис. 1). Класс крупности образцов для исследования был выбран на основании изучения литературных источников [18-24].



Рис. 1. Подготовка образцов доломита

Элементный состав карбонатных пород определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии (рис. 2) с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) (спектрометр IRIS Intrepid II XSP Duo). Навески образцов обрабатывали раствором соляной кислоты (1:1), нерастворенный остаток отфильтровывали. Условия ИСП-АЭС определения элементов в кислотных минерализатах следующие: радиальное наблюдение ИСП, мощность ИСП – 1 150 Вт, скорость вспомогательного потока аргона – 0,5 л/мин. скорость подачи раствора пробы – 2,0 мл/мин.



Рис. 2. Определение элементного состава карбонатных пород

Для определения элементного состава карбонатных пород в качестве внутреннего стандарта использовали кадмий, длины волн аналитических линий приведены в таблице 1.

Таблица 1. Длины волн аналитических линий

Определяемый элемент	Длина волны, нм	Определяемый элемент	Длина волны, нм
Al	396,152	Na	589,592
Ca	317,933	S	180,731
Fe	239,562	V	292,464
K	766,491	Zn	213,618
Mg	280,271	Cd*	214,438; 228,802
Mn	257,610		

* – внутренний стандарт

Исследование карбонатных пород как сорбентов проводили в статических условиях, в качестве испытуемой воды была взята водопроводная вода г. Донецка. В конические колбы помещали навески образца, добавляли исследуемую воду объемом 250 см³ и оставляли на 12 ч. без перемешивания (рис. 3).

После этого воду фильтровали через фильтр «красная лента» и определяли жесткость методом комплексонометрического титрования [15, 16].

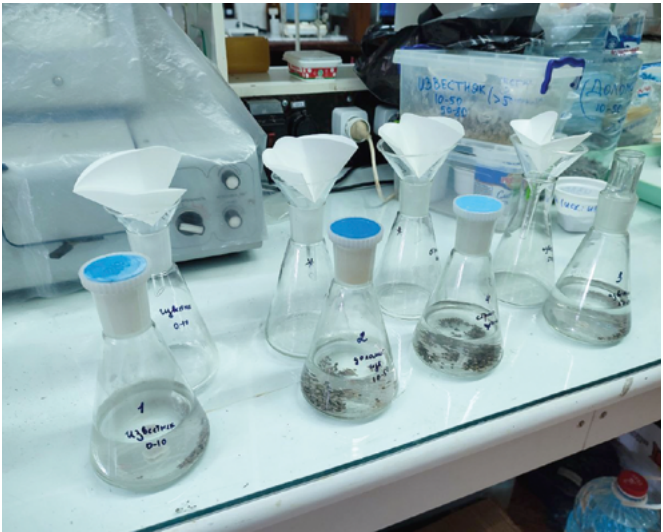


Рис. 3. Исследование карбонатных пород как сорбентов

Расчет навески образцов карбонатных пород проводили согласно эмпирической формуле (5) [16]:

$$D_{CaO} = (Ж_k + [Mg^{2+}] + [CO_2] + 0.5) \cdot 28 \quad (5)$$

где D_{CaO} – необходимое количество CaO, мг/дм³; $Ж_k$ – жесткость карбонатная, ммоль/дм³; $[Mg^{2+}]$ – магниевая жесткость, ммоль/дм³; $[CO_2]$ – содержание двуокси углерода, ммоль/дм³; 0.5 – избыток реактива; 28 – молярная масса эквивалента CaO.

Результаты определения элементного состава методом атомно-эмиссионной спектрометрии карбонатных пород представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты ИСП-АЭС анализа кислотных минерализаторов карбонатных пород

Определяемый элемент	Массовая доля в образцах, %					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Al	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06
Ca	36,2	37,5	27,1	29,4	34,7	24,7
Fe	0,005	0,008	0,04	0,04	0,02	0,07
K	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04
Mg	0,18	0,19	6,50	4,0	0,88	7,68
Mn	0,003	0,004	0,02	0,009	0,005	0,03
Na	0,06	0,10	0,12	0,10	0,12	0,12
S	0,80	0,78	0,52	0,79	0,14	0,36
V	< 0,001	< 0,001	0,002	0,003	< 0,001	0,002
Zn	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Для уменьшения жёсткости исследуемой воды (воды источников поверхностных водоемов) использовали как исходные образцы карбонатных пород, так и продукты их обжига. Обжиг карбонатных пород проводили в муфельной печи Isotemp 550-58 Muffle Furnace (Fisher Scientific) при температуре 900 °С в течение 2 ч. Величина обгара (разница массы образца до и после обжига, выраженная в %) составила соответственно: № 1 – 30, № 2 – 30, № 3 – 47, № 4 – 34, № 5 – 33, № 6 – 46. При обжиге в атмосфере воздуха происходит превращение кальций-магниевого карбоната в соответствующие оксиды. С учетом результатов элементного анализа образцов можно сделать заключение, что основным продуктом обжига образцов № 1, № 2 и № 5 является CaO, а образцов № 3, № 4 и № 6 – смесь CaO и MgO.

Результаты определения показателей качества водопроводной воды, необходимых для расчета количества обожженных образцов карбонатных пород, следующие: карбонатная жёсткость – 4,92 ммоль/дм³, содержание свободного углекислого газа – 0,02 ммоль/дм³, магниевая жёсткость – 2,88 ммоль/дм³. Определение показателей проводили стандартными методами [15–17], магниевую жёсткость рассчитывали по результатам ИСП-АЭС определения магния.

Таблица 3. Результаты комплексометрического определения жёсткости вод после очистки карбонатными породами

Образец	Жёсткость воды (ммоль/дм ³) после контакта с образцами		Снижение общей жёсткости воды после контакта с образцами, %	
	до обжига	после обжига	до обжига	после обжига
Исходная вода	6,25		100	
№ 1	6,05	4,20	3,20	32,80
№ 2	6,05	4,47	3,20	28,48
№ 3	6,05	4,46	3,20	28,64
№ 4	6,02	4,46	3,68	28,64
№ 5	6,06	4,38	3,04	29,92
№ 6	6,06	4,61	3,04	26,24

ВЫВОДЫ

Карбонатные породы широко применяются в различных сферах. Однако, ухудшение экологической обстановки и высокая потребность в чистой воде заставляет искать всё новые перспективные способы умягчения воды.

В ходе исследования была изучена возможность применения карбонатных пород Донецкого региона (продукция и сырьё флюсо-доломитного комбината) в качестве сорбентов для очистки поверхностных вод. Анализ элементного состава показал, что основным компонентом изучаемых образцов является Ca, что характерно для доломитов. Массовая доля остальных определяемых элементов (Al, Fe, K, Mg, Mn, Na, S, V, Zn) не превышает 1 %. Исходные образцы показали невысокую эффективность в умягчении воды. Образец № 4 (доломитизированный известняк) снизил жёсткость воды на 3,68 %. Эффективность остальных (не обожжённых) образцов не превысила 3,20 %, что говорит о неэффективности их применения для умягчения воды.

Установлено, что обожженные образцы более эффективны для умягчения воды: образец № 1 (известняк) снизил общую жёсткость воды на 32,80 %, образцы № 2–4 – в среднем на 28,60 %. Производственные отходы флюсо-доломитного комбината (образец № 6) снизили общую жёсткость на 26,24 %. Применение производственных отходов для умягчения воды позволит решить проблему складирования и хранения отходов флюсо-доломитных комбинатов, сократит расходы на дорогостоящий импорт реагентов, применяемых в процессе умягчения воды для нужд предприятий Донецкого региона. Предполагается применения изученных карбонатных пород в процессе предварительной очистки воды перед ионно-обменными фильтрами, что позволит сократить частоту регенерации ионно-обменных смол, применяемых для умягчения воды, подаваемой в котельные и теплосети региона. Таким образом, применение продукции и производственных отходов флюсо-доломитного комбината даст положительный экологический и экономический эффекты.

Список литературы

1. Кульский, Л. А. Основы химии и технологии воды / Киев, Наук. думка, 1991. – 568 с.
2. Латопышкина, Н. П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей / М., Энергоиздат, 1982. – 200 с.
3. Кострикин, Ю. М. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления / М., Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.
4. Фрог, Б. Н. Водоподготовка / М., Изд-во ассоциации строительных Вузов, 2007 – 655 с.
5. Мачикина, Д. В. Проблемы экологической безопасности предприятий тепловой энергетики угледобывающих регионов / Д. В. Мачикина // Научный вестник НИИГД «Респиратор» – 2021. – №4. – С. 52–60.
6. Высоцкий, С. П., Мачикина, Д. В. Проблемы накопления и энергосбережения / С. П. Высоцкий,

- Д. В. Мачикина // Научный журнал Строитель Донбасса – 2021. – №15 – С. 25 – 29.
7. Лифшиц, О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок / М., Энергия, 1976. – 288 с.
 8. Стерман, Л. С., Покровский, В. Н. Химические и термические методы обработки воды на ТЭС / М., Энергия, 1981. – 232 с.
 9. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Киев, Высшая школа, 1986. – 352 с.
 10. Хохрякова, Е. А. Водоподготовка: Справочник / М., Аква-Терм, 2007. – 240 с.
 11. Акользин, П. А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. / М., Энергоиздат, 1982. – 303 с.
 12. Claude E. Boyd Water Quality: An Introduction/ Springer Science & Business Media, 2020. – p. 330.
 13. Frederic P. Miller, Agnes F. Vandome, John McBrewster. Hard Water/ Springer Science & Business Media, 2009. – p.178.
 14. Другов, Ю. С. Анализ загрязненной воды / М., Лаборатория знаний, 2020. – 680 с.
 15. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества / М., Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.
 16. ГОСТ 31954 – 2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости/ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2013 – 16 с.
 17. ГОСТ 31957 – 2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2013. – 30 с.
 18. База данных Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности». – Электронные дан. – Режим доступа: <https://www.fips.ru/vse-uslugi/patentno-informatsionnye-produkty/>.
 19. Ильин, А. П., Милушкин, В. М., Назаренко, О. Б., Смирнова, В. В. Разработка новых методов очистки воды от растворимых примесей тяжелых металлов / А. П. Ильин, В. М. Милушкин, О. Б. Назаренко, В. В. Смирнова// Известия Томского политехнического университета – 2010. – № 3. С.40–45.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТБО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Ю. В. Копец; К. К. Копец, к.т.н., доцент

ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля» институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства

Аннотация. Получение и использование биогаза относится к инновационной энергетике, энерго- и ресурсосберегающим и природоохранным технологиям. В работе рассматриваются история изучения биогаза, опыт его производства, применения, его характеристики и технология производства. Приведен краткий обзор существующего положения в биоэнергетической отрасли в разных странах. Проанализирована ситуация в области переработки органического сырья со свалок ТБО в биогаз. Рассмотрены перспективы его применения в России и Луганской Народной Республике. Предложена схема утилизации отходов с последующим извлечением биогаза. Особое внимание уделяется процессу производства электроэнергии, а так же типам электростанций, работающих на свалочном газе.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, «зеленые» источники энергии, биогаз, биомасса.



**Копец
Юрий
Витальевич**



**Копец
Карина
Константиновна**

Быстрый рост численности населения, а также темп технологического развития вызывают непрерывное увеличение спроса на традиционное топливо. Однако геологические запасы основных ресурсов — нефти и газа — ограничены, а их добыча, переработка и сжигание приносят нашей планете колоссальный ущерб, связанный с глобальным изменением климата Земли — парниковым эффектом [1]. Это влечет за собой потребность в поиске новых технологий — переход к возобновляемой энергетике.

Альтернативные источники энергии уверенно входят в повседневную жизнь. Люди научились использовать для собственных нужд энергию воды, ветра, солнца, недр земли и другие виды топлива. К таким необычным источникам энергии и относится биогаз, как источник энергии, полезный людям для удовлетворения своих энергетических потребностей без использования ископаемого топлива [2].

Биогаз — газ, полученный по технологии анаэробного метанового сбраживания биомассы, органических отходов в биогазовых установках (агрегатах, являющихся комплексом технических сооружений и аппаратов, объединенных в единый технологический цикл) ассоциацией метабактерий благодаря управляемому процессу разложения сырья [3]. Его основными компонентами являются: метан (CH_4) — 55-65 % и углекислый газ (CO_2) — 35-45 %, а также в очень малых количествах, около 1 %, другие газы, например, водород (H_2) и сероводород (H_2S). Средняя теплота сгорания биогаза зависит от его состава. При содержании метана около 60 % она равна 22 МДж/м³. Поскольку горючая часть биогаза состоит из метана (температура воспламенения метана около 645 °С), его причисляют к семейству природных газов. Он является экологически чистым топливом.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ БИОГАЗА

Рассмотрим зарубежный и отечественный опыт в эксплуатации биогазовых установок.

Человечество научилось использовать биогаз давно. Ещё в 1-2 тысячелетии до н.э. на территории современной Германии уже существовали примитивные биогазовые установки.

Первые глобальные оценки потока свалочного метана начали проводиться в прошлом десятилетии. В одной из первых работ 1987 года было показано, что глобальная эмиссия свалочного метана составляет 30-70 млн. т в год, или 6-18 % от его общепланетарного потока [4].

Первая современная мусорная свалка с применением специальных инженерных сооружений открылась в Калифорнии (США) в 1937 году. Исследования и

применение свалочного газа в США начались после принятия в 1965 году закона об утилизации твёрдых отходов («Solid Waste Disposal Act»).

Англоязычный термин «landfill» (русс. свалка) устоялся только в 50-х годах. Работы по утилизации свалочного газа ускорились во время нефтяного кризиса 70-х годов. С 1980 года правительство США начало предоставлять налоговые льготы производителям свалочного газа. К концу 1984 года в США действовала 41 теплоэлектростанция, работающая на свалочном газе [5].

«Биогаз Технолджи» — одна из первых в мире компаний, которая начала использовать эти возможности в начале 2000-х годов. В настоящее время выполнены 20 проектов по сбору и утилизации свалочного газа в разных странах.

Глобальная добыча свалочного газа составляет около 1,2 млрд. м³ в год, что эквивалентно 429 тыс. тонн метана или 1 % его мировой эмиссии. К 2002 году в мире действовало 1 152 объекта по получению свалочного газа, общей мощностью производства энергии 3 929 МВт, с объёмом обрабатываемых отходов 4 548 млн. т. В Европе таких объектов насчитывалось 750. Лидерами по объёмам годовой газодобычи с полигонов ТБО являются: США — 500 млн. м³/год, Германия — 400, и Великобритания — 200.

В начале века в США вступил в силу закон о необходимости оборудования всех без исключения полигонов страны системами добычи и обезвреживания биогаза, после того как американскими исследователями было показано, что свалки являются основным антропогенным источником метана [6].

Из 6 тыс. свалок, действующих на территории США (2004 г.), около 360 собирают и утилизируют свалочный газ, и ещё на 600 свалках возможно извлечение метана. Полученного из этого газа электричества будет достаточно для снабжения 1 млн. домохозяйств. По данным ЕРА (Агентство по защите окружающей среды США) в 2006 году улавливание свалочного газа в США предотвратило выбросы в атмосферу 20 млн. метрических тонн парниковых газов в CO₂ эквиваленте, для захвата которых потребовалась бы высадка 20 млн. акров лесов. Утилизация газа в 2006 году позволила США сэкономить 169 млн. баррелей нефти из 500 тыс. по всему миру. К 2025 году США планируют получать 29 млрд. кВт ч электроэнергии ежегодно из бытового мусора и свалочного газа.

Свалки Канады, в свою очередь, выбрасывают в атмосферу 25 % парниковых газов. Но благодаря организованному полигону выбросы парниковых газов уже сократились на 3,7 млн. тонн в год [5].

Чтобы разумно использовать 35 млн. м³ свалочного газа, ежегодно выделяющегося на свалке Раутен-вег под Веной, была создана станция электрической мощностью 7908 кВт; она покрывает потребности в электричестве 25 тыс. квартир. Подобные станции действуют также в Великобритании, Швейцарии, Австралии, Гонконге и других странах [7].

В Финляндии эксплуатируется уже более 30 систем по сбору биогаза практически со всех полигонов размещения отходов. Эти биогазовые насосные станции собирают в течение года такое количество мета-

на, которое эквивалентно более чем миллиону тонн углекислого газа.

В России в данное время разрабатывается несколько проектов по свалочному газу, в том числе утилизация свалочного газа на таких полигонах, как «Хметьево» и «Дмитровский» в Москве [8]. Свалки России ежегодно выбрасывают в атмосферу 1,1 млн. т, что составляет примерно 2,5 % от планетарного потока.

В ряде стран мира энергетика на биомассе заняла важное место в энергобалансе. К примеру, в Дании на долю энергетики на биомассе приходится более 7 % всей энергетики, в Австрии — 12 %, в Швеции — 21 %, а в Германии — более 24 %. В целом, в ЕС ежегодно из биомассы получают 14 % от общей потребности в энергии (рис. 1).

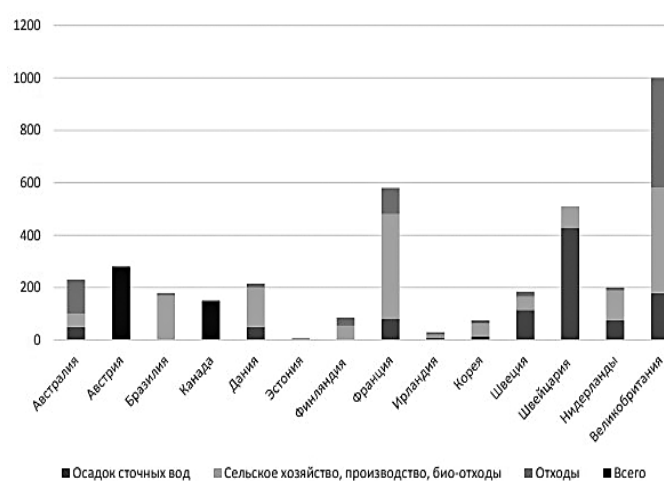


Рис. 1. Количество биоэнергетических установок по странам мира [9,10]

Европейский рынок биогазовых установок оценивается в \$3 млрд. и, по прогнозам, он должен вырасти до \$25 млрд. уже к 2020 г. При этом 75 % биогаза производится из отходов сельского хозяйства, 17 % — из органических отходов частных домохозяйств и предприятий и еще 8 % — канализационных очистных сооружений.

ПОРЯДОК ПЕРЕРАБОТКИ БИОГАЗА

Одним из важнейших источников CH₄ и CO₂ являются пункты захоронения и складирования твердых бытовых отходов. Расположенные в ландшафтах городов техногенные геологические тела, сформированные свалочными отложениями, самопроизвольно генерируют большое количество биогаза. Активное газообразование начинается после закрытия объекта (или его части), когда сформировался сбалансированный метаногенез, длится 20–30 лет и постепенно отмирает. Свалки интенсивно выбрасывают биогаз в атмосферу (доля общих выбросов метана в атмосферу составляет от 2 до 12,7 % от захоронения бытовых отходов). Выделяемые свалками газы содержат огромное количество токсичных и вредных веществ, крайне опасных для здоровья и жизни людей. Добыча и утилизация биогаза на полигоне может решить

экологические проблемы посредством предотвращения выбросов метана в атмосферу [11].

Самый эффективный способ уменьшить выбросы биогаза — это откачать его и использовать в качестве топлива или электроэнергии. В мире действует более 150 таких установок.

Производство биогаза на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО) не требует строительства специальных заводов. Основные затраты на использование биогаза (ТБО) связаны с извлечением, очисткой и транспортировкой. В этом отношении свалки можно рассматривать как аналог месторождения природного газа не только с точки зрения технологий разработки, но и с точки зрения запасов метана. Масштабы образования и низкая стоимость добычи делают биогаз со свалок одним из самых многообещающих источников энергии для местных нужд.

После очистки биогаз используется для выработки электрической и тепловой энергии, которая используется в технических целях и в системах отопления. Мощность установок по выработке электроэнергии из биогаза колеблется от десятка кВт до нескольких мВт, а биогазовых установок от 10 до 1 200 м³/ч. Сырой биогаз сжимается до 0,4 бар и подается на ТЭЦ по газопроводу протяженностью 1 км и диаметром 200 мм.

Обращаем внимание, что биогаз также можно использовать в качестве топлива в энергетических установках с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Вывозимые на полигон отходы утилизируются в соответствии с указаниями СНиП. На полигоне будет построен газодобывающий комплекс, который будет состоять из скважин, газопроводов и компрессорных станций, которые будут снабжать установки рекуперации газом, который мы будем использовать в качестве мотор-генератора, вырабатывающего электроэнергию из биогаза. Из 1 м³ биогаза можно получить 1,3-1,5 кВт электроэнергии. При полном использовании запасов биогаза можно производить 665 тыс. кВт электроэнергии в год. В случае более крупных свалок производство электроэнергии может быть значительно выше.

Для выработки 1 мВт энергии необходима подача биогаза в количестве 525 м³/ч. Считается, что одна скважина дает до 80 м³/ч газа. Высокая плотность мусора позволяет извлекать газ с большой скоростью. Типичная свалка может производить газ в течение 10-12 лет. Максимальная производительность приходится на четвертый год, затем медленно снижается.

На рис. 2 представлена схема утилизации отходов с последующим извлечением биогаза.

На полигоне в свалке бурят скважину на глубину не менее 10 м и укладывают стальную трубу с перфорацией в нижней части. Затрубное пространство хранилища заполняется гранулированным материалом. Верхняя часть затрубного пространства забетонирована для предотвращения попадания воздуха в скважину. Типичное оборудование для сбора биогаза состоит из всасывающего трубопровода, диафрагменного расходомера и задвижки для регулирования потока. Газ отсасывается и направляется по трубопроводам потребителю в качестве топлива или электроэнергии.



Рис. 2. Схема захоронения ТБО с дальнейшим получением и использованием биогаза в виде топлива или электроэнергии

Технология малогабаритного биогаза воплощает в себе возможность решить проблему доступа к энергии для развивающихся стран с невысоким уровнем дохода [12]. Биогазовые установки могут уменьшить энергетическую бедность и обеспечить чистую энергию для приготовления пищи и освещения в сельских районах, где отсутствует энергетическая инфраструктура.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Различные технологии, в том числе поршневые двигатели внутреннего сгорания, турбины, микротурбины и топливные элементы могут использоваться для выработки электроэнергии для использования на месте и/или продажи в сеть. Поршневой двигатель является наиболее часто используемой технологией преобразования свалочного газа в электроэнергию из-за его относительно низкой стоимости, высокой эффективности и размеров, которые дополняют выход газа на многих свалках. Газовые турбины обычно используются в более крупных энергетических проектах по свалке, тогда как микротурбины обычно используются для меньших объемов свалочного газа и в нишевых приложениях.

В проектах когенерации, также известной как комбинированное производство тепла и электроэнергии (ТЭЦ), свалочный газ используется для выработки как электроэнергии, так и тепловой энергии, обычно в виде пара или горячей воды. Несколько проектов когенерации с использованием двигателей или турбин были установлены на промышленных, коммерческих и институциональных объектах с использованием двигателей или турбин. Повышение эффективности за счет использования тепловой энергии в дополнение к производству электроэнергии может сделать этот тип проекта очень привлекательным.

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ НА СВАЛОЧНОМ ГАЗЕ

Более 70 процентов всех проектов по производству электроэнергии на свалках используют поршневые двигатели внутреннего сгорания (РП) для создания электростанций, работающих на свалочном газе. РП — это форма двигателя внутреннего сгорания, которую часто можно увидеть на свалках. Они выбраны из-за относительно низкой стоимости, высокой эффективности, а доступные модели подходят для большинства свалок. Остальные представляют собой газовые турбины в двух формах: «турбины» для крупных свалок с высоким выходом свалочного газа и микротурбины для небольших свалок.

Ожидается, что в будущем свалочный газ (биогаз) будет сжигаться с более высокой эффективностью, чем могут достичь двигатели внутреннего сгорания в топливных элементах. Однако автору этой статьи на сегодняшний день не известно ни о каком подобном использовании биогазовых топливных элементов.

В следующем абзаце мы предоставим более подробную информацию о трех вышеупомянутых типах электростанций, работающих на свалочном газе. Они перечислены как двигатели внутреннего сгорания со следующими вариантами конструкции:

- возвратно-поступательный поршень (РП)
- газовая турбина и
- микротурбина.

ПОРШНЕВЫЕ (РП) ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатели РП обычно достигают КПД от 25 до 35 процентов на свалочном газе. Тем не менее, двигатели РП могут быть добавлены или удалены в соответствии с тенденциями использования газа. Каждый двигатель может развивать мощность от 150 кВт до 3 МВт, в зависимости от расхода газа.

Двигатель РП (менее 1 МВт) обычно может стоить 2 300 долларов за кВт с годовыми затратами на эксплуатацию и техническое обслуживание в размере 210 долларов за кВт. Двигатель РП (мощностью более 800 кВт) обычно может стоить 1 700 долларов за кВт с годовыми затратами на эксплуатацию и техническое обслуживание в размере 180 долларов за кВт. Оценки даны в долларах 2010 года.

ГАЗОТУРБИННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Газовые турбины, еще одна форма двигателя внутреннего сгорания, обычно имеют эффективность от 20 до 28 процентов при полной нагрузке на свалочном газе. КПД падает, когда турбина работает с частичной нагрузкой. Газовые турбины имеют относительно низкие затраты на техническое обслуживание и выбросы оксидов азота по сравнению с двигателями РП. Газовые турбины требуют высокой степени сжатия газа, которая использует больше электроэнергии для сжатия, что снижает эффективность.

Газовые турбины также более устойчивы к коррозионным повреждениям, чем двигатели РП. Газовые турбины требуют минимум 1 300 кубических футов в минуту и обычно превышают 2 100 кубических футов в минуту и могут генерировать от 1 до 10 МВт. Газовая турбина (мощностью более 3 МВт)

обычно может стоить 1 400 долларов за кВт, а ежегодные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание составляют 130 долларов за кВт. Оценки даны в долларах 2010 года.

МИКРОТУРБИНЫ

Микротурбины могут производить электроэнергию с меньшим количеством свалочного газа, чем газовые турбины или двигатели РП. Микротурбины могут работать на скорости от 20 до 200 кубических футов в минуту и выделяют меньше оксидов азота, чем двигатели РП. Кроме того, они могут работать с меньшим содержанием метана (всего 35 процентов). Микротурбины требуют обширной обработки газа и бывают мощностью 30, 70 и 250 кВт.

Микротурбина (менее 1 МВт) обычно может стоить 5 500 долларов за кВт при годовых затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание в размере 380 долларов за кВт. Оценки даны в долларах 2010 года [13].

На количество производимого биогаза влияют: состав, возраст, плотность, температура и влажность отходов; площадь, глубина, режим эксплуатации и рекультивации хранилища отходов; водный баланс хранилища. В простейшем случае газы могут собираться и подаваться в качестве топлива потребителю по трубам. Поскольку биогаз может содержать сероводород и галогенпроизводные углеводороды, его необходимо очищать, чтобы использовать в качестве топлива для газовых двигателей. Сероводород извлекается на первой стадии, а галогенпроизводные углеводороды удаляются на второй стадии.

Таблица 1.

Количество биогаза, которое возможно извлечь
со свалок городов и поселков ЛНР

Населенный пункт	Количество ТБО (тыс. т)	Количество биогаза (тыс. м³)	Использование биогаза	
			Теплота сгорания (тыс. МДж/м³)	Количество электроэнергии (тыс. кВт)
Луганская агломерация	229,2	2292	48 132	3 209
Свердловская агломерация	82,8	828	17 388	1 159
Южно-Луганская агломерация	187,2	1872	39 312	2 621
Центрально-Луганская агломерация	244,3	2443	51 303	3 420
Всего	743,5	7435	156 135	10 409

В обоих случаях в качестве очищающего вещества используется активированный уголь. В первом случае он играет роль катализатора при превращении сероводорода в элементарную серу: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$. Активный уголь, на котором осажается элементарная сера, периодически заменяется свежим. На второй стадии активный уголь играет роль

адсорбента. Для выработки 1 МВт энергии необходима подача биогаза в количестве 525 м³/ч. Высокая плотность мусора позволяет извлекать газ с большой скоростью.

Анализ морфологического состава ТБО на свалке в Луганске говорит о наличии большого количества органических отходов, которые могут разлагаться с образованием биогаза.

Отмечается, что при разложении 1 тонны ТБО образуется 100-150 м³ биогаза. С учетом использования свалок со сроком эксплуатации более 10 лет можно получить в Луганской агломерации 230 млн. м³ потенциального количества биогаза; в других агломерациях – 514 млн. м³ (таблица 1).

В Санкт-Петербургском государственном техническом университете разработан пилот-проект системы сбора биогаза на полигоне ТБО г. Тосно с объемом свалочных отложений около 1 млн. м³. Проведенные расчеты показали, что общее количество биогаза, выделившегося за 20 летний период эксплуатации системы по его сбору составляет 20-30 млн. м³ (или около 1 млн. м³/год). Такое количество биогаза достаточно для эксплуатации энергетической установки мощностью порядка 1 МВт. К настоящему времени накоплен значительный практический опыт по использованию биогаза из хранилищ мусора и отходов.

Выход биогаза с полигонов ТБО может возрасти в 1,5-2 раза, если к бытовому мусору добавлять осадок станций биологической очистки сточных вод. При этом может быть решена крайне актуальная проблема осадков городских очистных сооружений.

Рассмотрим преимущества и недостатки производства биогаза (таблица 2).

Таблица 2.
Преимущества и недостатки производства биогаза [14]

Преимущества	Недостатки
Источник возобновляемой энергии	Необходимость гарантированного сбыта производственной электроэнергии
Доступность сырья для производства биогаза, полное отсутствие топливных затрат в структуре операционных расходов. В 95 % случаев отходы достаются собственнику бесплатно	Существенные капитальные затраты в расчете на единицу мощности
Экологически безвредное среднекалорийное газовое топливо	Отсутствие гарантированного снабжения генерирующих объектов отходами, закрепленного на законодательном уровне
Территориальная гибкость: биогазовые установки не требуют сетевой инфраструктуры и строительства дорогостоящих газопроводов и могут быть размещены в любом районе	Отсутствие законодательных требований о полной переработке переброженной массы в чистую воду и комплексные удобрения
Технологическая гибкость: использование биотоплива дает возможность получения одновременно нескольких видов энергоресурсов – газа, тепла, моторного топлива, электроэнергии	Узкий диапазон рентабельных проектов

Для конкретных территорий внедрение биогаза будет способствовать сокращению количества отходов и объемов их накопления, уменьшению местного загрязнения воздуха благодаря меньшему количеству вредных выбросов, сокращению содержания органических веществ в отходах и сточных водах, уменьшению использования химических удобрений.

ВЫВОДЫ

Производство биогаза является эффективной и инвестиционно привлекательной технологией, которая обуславливается наличием значительного сырьевого потенциала, благоприятными природно-климатическими условиями и низким уровнем себестоимости этого вида энергии. Т.е. производство биогаза из отходов всех источников (сельскохозяйственных, лесных, промышленных и бытовых) для производства комбинированной тепловой и электрической энергии является очень эффективной мерой по снижению выбросов парниковых газов. Утилизация биогаза позволит не только частично обеспечить местные потребности в топливе, но и будет способствовать улучшению качества окружающей среды, снижению пожароопасности свалочных отложений и т.д.

Список литературы

1. Зайнутдинова, А. Ф. Анализ перспектив использования биогаза в России. /А. Ф. Зайнутдинова, А. Р. Садыкова, Л. Ф. Ильгамова, И. В. Мухаметова // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, vol. 5-2 (56), 2021. – С. 181-183.
2. Amini, S Investigation of biogas as renewable energy source / S. Amini, P. Ordoney, L. Khuzestan // *Int. J. Agric. Crop Sci.* 2013. – pp. 1453-1457
3. Bharathiraja, B. Biogas production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion / B. Bharathiraja, T. Sudharsana, J. Jayamuthunagai, R. Praveenkumar, S. Chozhavendhan, J. Iyyappan, // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018. – pp. 570-582
4. Метан на рынке. [Электронный ресурс]: Главная статья / - Электрон. журн. - Русдем-Энергоэффект, 2007-2010. - Режим доступа: <http://www.methanetomarkets.ru>
5. Schiopu, A. Municipal solid waste landfilling and treatment of resulting liquid effluents / Ana-Maria Schiopu, M. Gavrilescu // *Environmental Engineering and Management Journal* 9(7):993-1019, 2010. – pp.993-1019
6. Загорская, Е. Добыча и утилизация свалочного газа для выработки электроэнергии и сокращения выбросов парниковых газов [Электронный ресурс]: презентация компании Green Light Energy Solutions / Е. Загорская. – Режим доступа: <http://www.glesllc.com/>
7. Плохих, И. Н. Энергия – вокруг нас. Моторные мины-ТЭС на вторичном топливе. Примеры использования и утилизации «дармовой» энергии. [Электронный ресурс]: статья/ И. Н. Плохих // АКВА-ТЕРМ, 2001. – Режим доступа: <http://www.esist.ru/>
8. Колганов, Д. Метан на рынке [Электронный ресурс]: статья / Д. Колганов. // Электрон. журн. – Русдем-Энергоэффект, 2007-2010. - Режим доступа: <http://www.methanetomarkets.ru>

9. Ваваева, М. С. Биогаз как современный источник энергоресурсов в Белгородской области / М. С. Ваваева, М. В. Марушко // Образование, наука, производство, 2015. – С.1212-1216.
10. IEA Bioenergy Task 37 – Country Reports Summaries 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: <http://task37.ieabioenergy.com>
11. Свалочный газ [Электронный ресурс]: статья / Тепло-союз Украина; Технологии и инновации, 2007-2009. – Режим доступа: <http://www.teposoyuz.com/>
12. Somanathan, E. Biogas: Clean Energy Access with Low-Cost Mitigation of Climate Chang/ E. Somanathan, R. Bluffstone// *e. Environ. Resour. Econ.*, 2015.- pp. 265-277, doi:10.1007/s10640-015-9961-6
13. Landfill Gas Power Plants <https://landfill-gas.com/power-plants> 2019
14. Бойнрав, Л. В. Перспективы использования биогаза в России / Л. В. Бойнрав, А. В. Калямова, А. В. Румянцева // Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XIV международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 20-21 мая 2020 г.) включает статьи, посвященные различным теоретическим и практическим аспектам экологической безопасности. - Екатеринбург: УрФУ, 2020. - С. 226-231.

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO IMPROVE THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF WATER SUPPLY SYSTEMS FOR BOILER HOUSES (FOR SMALL FACILITIES)

N.G. Nasonkina, Dr. Sc.; E.A. Feskova; P.G. Bereza;
V.S. Zaburdaev; O.E. Zhukov

STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION “DONBAS NATIONAL ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE” MES DPR, Makeevka



N.G. Nasonkina



E.A. Feskova



P.G. Bereza



V.S. Zaburdaev



O.E. Zhukov

Annotation: Most of the small boiler houses in the Donetsk People’s Republic are not separated by separate levels, which leads both to a decrease in the reliability and efficiency of their operation, and to a significant complexity in the implementation of their water supply management. In this article, the authors consider the main ways to improve the efficiency of water supply systems for boiler houses, and also present an analysis of the factors affecting the reliability of water supply systems, their failures, operating conditions and energy consumption. The structure and classification of tasks for the reliability of water supply systems is given. A water supply system with low energy consumption for boiler houses is proposed. Studies show that as a result of targeted system management, it is possible to reduce water losses and use the technological reserve for upgrading systems, taking into account wastewater heat recovery.

Key words: boiler room, water treatment, water supply system, osmosis.

FORMULATION OF THE PROBLEM AND ANALYSIS OF RECENT RESEARCH

The main task of the technical operation of boiler water supply systems is to ensure the reliable operation of all elements and reduce energy consumption during the operation of boilers. A significant number of works are devoted to the issue of water treatment for boiler houses [1-12].

The structure and classification of tasks for the reliability of water supply systems for boiler houses is shown in Figure 1. It should be noted that for water supply systems for boiler houses, the main indicators of reliability are the probability of failure-free operation P and the availability factor K_G :

$$P^*(t) = 1 - \frac{n(t)}{N_0} \tag{1}$$

where N is the number of elements at the beginning, pcs.;

$n(t)$ - the number of elements that failed during the time t , pcs;

$$K_r = \frac{T_c}{T_c + T_B} \tag{2}$$

where T_c – time between failures;

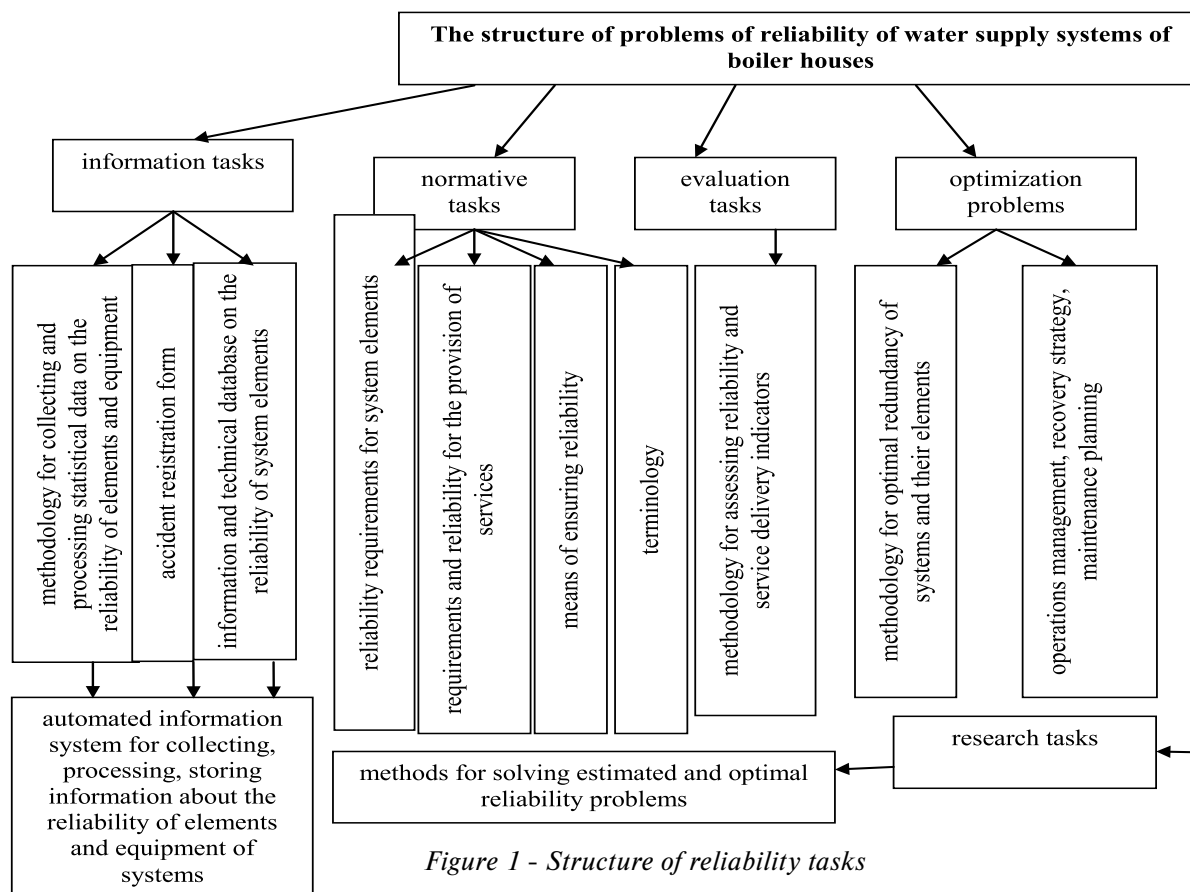


Figure 1 - Structure of reliability tasks

TV - average recovery time.

$$T_c^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (3)$$

where t_i is the time of correct operation of the object between (i-1) -m and i-th failure;
n is the number of failures over time t.

If we set the task of studying the influence of a variety of individual factors on the process of correct operation of the system, then, as can be seen from Table 1, the research program for its solution seems to be rather complicated. It becomes disproportionately more difficult when identifying relationships between variables. Therefore, when conducting research, it seems relevant to identify the nature of the functional relationship between the main variables.

Table 1. Classification of variables affecting the operation of the water supply system of boiler houses

Controlled parameters [X(t)]	Control actions [Y(t)]	Disturbances [Z(t)]
Q(t) - performance. Pout(t) - pressure; Pdt(t) - pressure at the dictating point; N(t) - power consumption, □(t) - plant efficiency, C(t) - the composition of the supplied water	Q(t) - performance. Pout(t) - pressure Pdt(t) - pressure at the dictating point Zdv(t) is the state of the elements, C(t) - the composition of the supplied water	Qc(t) - daily unevenness of water consumption QA(t) - leakage, Pv(t) - pressure Rk(t) - equipment wear 3(t) - reinforcement condition □(t) - overgrowth of pipes and boilers C(t) - composition of water

As can be seen from Table 1, the main parameters for regulating the operation of the water supply system of boiler houses are productivity, electricity consumption, and the quality of the supplied water.

PURPOSE OF THE WORK: to study the reliability of water supply systems for boiler houses and develop approaches to optimizing their operating conditions, taking into account the reduction in electricity costs.

MAIN MATERIAL

Most of the small boiler houses in the Republic are not isolated by individual levels, which leads both to a decrease in the reliability and efficiency of their operation, and to a significant complexity in the implementation of their water supply management.

When designing water supply systems for boiler houses, it is necessary to take into account the terrain, consumer requirements, water quality and tariffs for utilities provided. Small objects (villages, settlements, boarding houses, etc.) suffer from: less potential for savings when increasing the scale of production and lack of potential. Specific and operating costs in small settlements are approximately 50-100% higher than in large cities. At the same time, the ability to pay for services is significantly lower due to low per capita incomes. This leads to the fact that operating costs can significantly exceed operating income. As a result of this situation, in cities with a population of less than 100,000 people, the breakdown rate of utility systems is often higher than in large cities. In addition, in small towns, accident rates are growing much faster, which leads to accelerated deterioration of infrastructure.

In order to visualize the management of water supply systems and reduce costs in heating systems, it is proposed to introduce zoning of territories and waste heat recovery for the needs of boiler houses.

Quarter 76 was chosen as the object of research (Fig. 2). The purpose of the pilot project is to introduce a water supply and energy management system at the local boiler house, with a reduction in water and electricity losses, as well as constant monitoring of the supply and consumption of water resources. Experimental zones were used to determine, measure and reduce losses. When choosing an array, we were guided by the fact that the territory should contain all types of consumers; and that it has a high level of unpaid water and heat.



Figure 2. Scheme of the quarter 76

Metering devices were selected exactly according to consumption and calculated for average, maximum and minimum consumption.

Last year, water losses in the quarter amounted to 36% and the task was to significantly reduce leaks. The residential area consists of multi-storey buildings. Water supply and heat supply is carried out from the local boiler house. From pumps with a single water pressure for all buildings from 0.00 to 4.00 hours - 10.0 m; from 5.00 to 24.00 hours - 52.0 m. Previously, the control of water supply to the network of

the quarter was carried out using metering devices (class B) installed in the boiler house and in the basements of residential buildings. A system was chosen with data transfer to the Internet, and then to the control system, mathematical and statistical data processing (Fig. 3).

During the experiments, it was proposed to divide the quarter into three zones, depending on the required pressure, and install “smart” meters. All this made it possible to quickly manage water consumption, heat supply and respond to leaks that occur on external networks, in house systems or as a result of water theft. The created database of consumers made it possible to calculate the nighttime minimum of water consumption (from 2 to 4 hours), which became an indicator of leaks in this area. Water savings according to research results amounted to 20% of the total monthly consumption. Water losses in the quarter after the implementation of the project amount to 15%.

Due to interruptions in the water supply, the use of additional sources (groundwater and storage tanks) is proposed.

The possibility of using two types of tanks is analyzed. Tanks located at sufficiently high elevations can serve as pressure (active) tanks, similar to water towers, since with the same capacity the tank is always much cheaper than the tower. Pressure tanks should be arranged in the form of “mountain” tanks wherever the terrain allows it, and where they will not pose a threat to the safety of the population.

The second type of tanks are non-pressure (passive), i.e., those from which water can enter the system only by pumping it with a pump. Tanks of this type are at the same time control tanks.

When solving water supply issues, it is necessary to take into account the size of the serviced area, the volume of water consumption, the water consumption regime, the required costs and pressures, the difference in geodetic marks and the qualitative composition of the supplied water.

The estimated method for calculating specific water consumption is methodologically imperfect, as a result of which the calculated values of specific water consumption differ significantly from the actual ones [13].

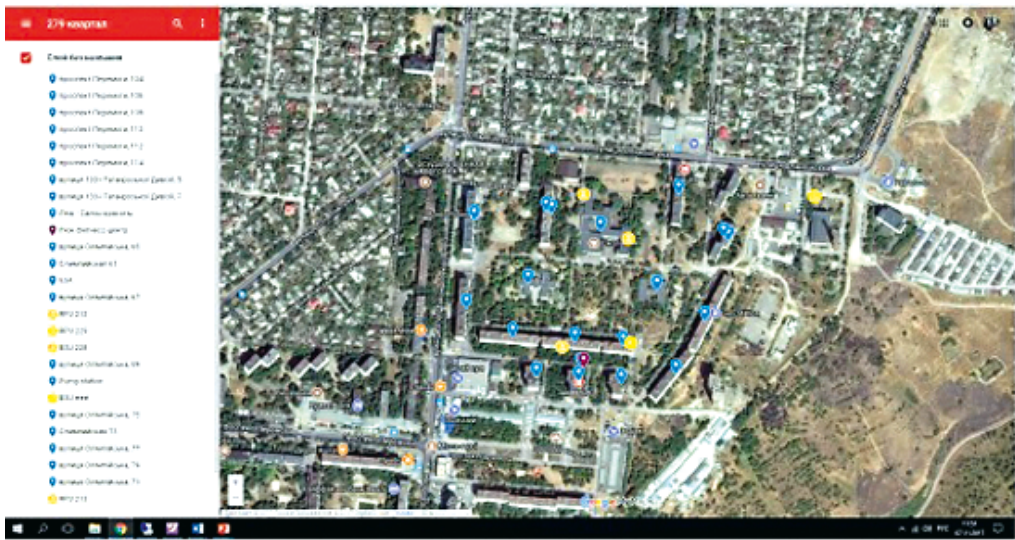


Figure 3. Data processing scheme

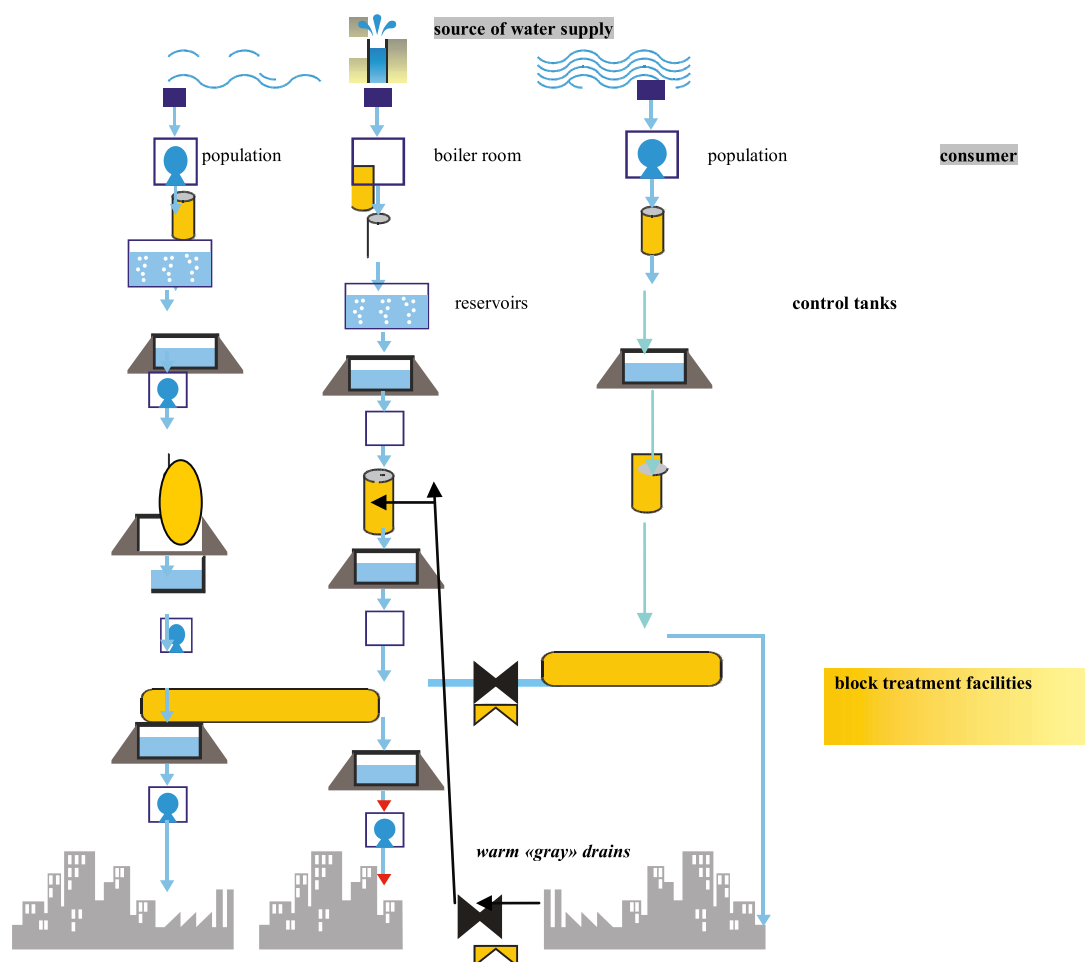


Figure 4. Structure of the water supply system

The tasks of rational operation and development of water supply systems are greatly simplified if any individual level can be distinguished from the general network. This is achieved by decoupling existing levels through various regulatory elements. At the same time, the structure of the water supply system for the boiler house and the population will take the form shown in Figure 4.

An analysis of the values of specific water consumption shows that even with fairly approximate methods of calculation, the range of their fluctuations is very large. This is an indirect evidence of some uncertainty in the criteria for specific water consumption.

Refinement of the structure of water consumption makes it possible to detect a reserve - a theoretical value defined as the difference between the actual and ideal water consumption. For the full implementation of the reserve, it is necessary to create ideal conditions in the system, which requires significant material costs, and is impossible at the current technical level. But this does not reduce the importance of its definition, since the reserve allows you to detect opportunities for saving water when acting on different elements of the systems and determine a strategy to combat losses.

A clear example of the excess of standards over actual costs can be diagrams obtained as a result of studies of modern multi-storey buildings with centralized hot water supply after the implementation of a set of water protection measures (Fig. 4) [14].

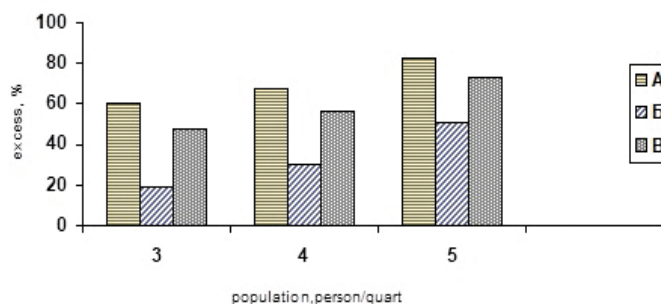


Figure 4. The excess of SNiP data over the actual average daily water consumption: A - for cold water; B - hot water; B - for total water consumption.

You can reduce the amount of water consumption by installing metering devices.

It has been established according to [15-18] that unproductive water losses increase the total water intake by 20-30%, water leaks in residential buildings - by 30-60%, and water leaks from networks - by 15-30%.

Each of these values has a different effect on the formation of the total water withdrawal from the networks for each of the calculated cases. Losses and leakages of water are the largest at minimum consumption, the smallest - at maximum, and unproductive losses - on the contrary.

Based on optimal water loss conditions, the formula for commercial programmatic loss management can be used by extrapolating the cost of a meter replacement program:

$$C_c = M \cdot N \cdot s / 2 \cdot y, \tag{1}$$

where M is the average cost per meter replacement, including materials, labor, manufacturing cost, etc.

N - number of connections;

s - decrease in the accuracy of the counter per year;

y – commercial losses, %.

According to studies, the accuracy of small meters (size - 5/8) decreases on average by 0.5% per year. That is, after 5 years of use, the accuracy of metering devices will decrease to 95%.

The average annual cost of a meter replacement program can be determined by the formula:

$$C_m = M \cdot N / P_m \tag{2}$$

where Cm is the average annual cost of the meter replacement program, rub/year;

Pm - meter replacement period, years.

Conditions that lead to the maximum optimal level of loss volume:

- 1) low level of consumption without a tendency to rapid growth;
- 2) large length of pipes of the distribution system per connection;
- 3) low average tariff;
- 4) the high cost of an active leak control program;
- 5) a sufficient level of expansion of investment activities and capital construction;
- 6) a large amount of losses caused by breakthroughs and leaks;
- 7) low variable cost of the filing process.

The first three parameters are the most sensitive.

It should also be noted that excess production capacity further increases unit costs.

At present, the “cost plus” tariff scheme is applied for the regulation of utilities sector enterprises. This means that, in addition to the cost of the service, businesses receive an agreed-upon fixed share of “profit”, which deprives them of the incentive to cut costs. An alternative to the “cost plus” scheme is the “price cap” tariff scheme, in which the regulator places a cap on the tariff on products that businesses can take from consumers.

It should be noted that even maintaining services at the current level requires significant financial costs from consumers and the state budget. Going beyond adequate service support would significantly increase the existing financial gap between investment needs and available funding. Key reforms to promote investment should be directed first to immediate projects and then to promising ones. Slowing down the processes of system optimization will lead to a deterioration in the quality of services or to their complete cessation. This situation is especially acute in small towns.

It should also be taken into account that hot water heating accounts for 20-25% of the total energy consumption in a typical home, and most of the load is for heating water for bathing or showering. The cost of hot water, as a rule, takes the second place in the column of expenses for housing and communal services in multi-apartment residential buildings, second in cost only to the costs spent on space heating. Studies have shown that 1/10 of the water used in the shower is sufficient for hygienic procedures.

This means that about 90% of the warm water supplied to the shower faucet is drained into the sewer unused.

In addition to warm water from the shower, washing machines and dishwashers also contribute to heating water using electricity.

Recycling and reusing most of the wastewater energy will save heat energy and reduce the overall cost of hot water.

Wastewater has an average temperature of around 21–26 °C. The amount of wastewater is in direct proportion to the consumption of drinking water and for various types of buildings on weekdays averages from 200 to 330 l / day per person for residential buildings. The use of wastewater thermal energy makes it possible to achieve high rates of heat savings associated with the high influence of seasonal performance factors, as well as the environmentally friendly use of heat recovery systems in the house. One of the important factors in ensuring the efficiency of the system is the regular removal of the biofilm that forms on the part of the heat exchanger that is washed by the wastewater.

The wastewater temperature at collection points is approximately 10 to 15 °C throughout the year and even reaches 20 °C in summer, which is enough for guaranteed and trouble-free operation of heat pumps. During the winter months, when there is a high demand for thermal energy, the temperature of the waste water in the places of centralized installation of heat pumps is only about 10 °C, which leads to a decrease in the efficiency of the heat pump.

In order to determine the energy potential of wastewater, it is necessary to know the consumption of cold drinking water, as well as the temperature of the wastewater, these values must be measured at control facilities. It is assumed that the consumed amount of drinking water is equal to the amount of wastewater discharged from the building. Wastewater temperature is measured respectively by two temperature sensors in each sewerage system. Measuring points are located on the main main sewer pipes and before the discharge of wastewater into the external sewer system (Fig. 3).

Typical daily changes in drinking water consumption and wastewater temperature on weekdays, based on the arithmetic mean value for one of the houses in block 76, are shown in

Fig. 5-7.

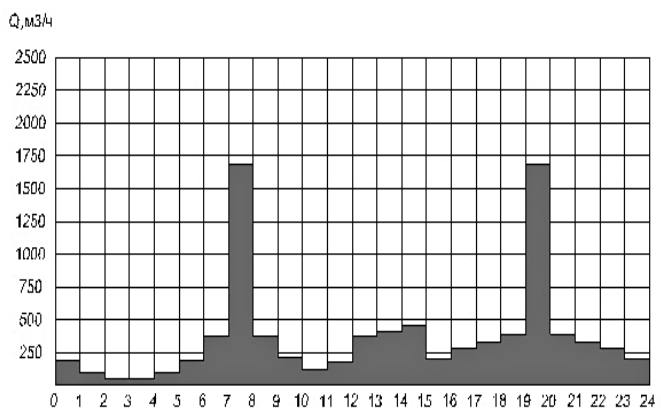
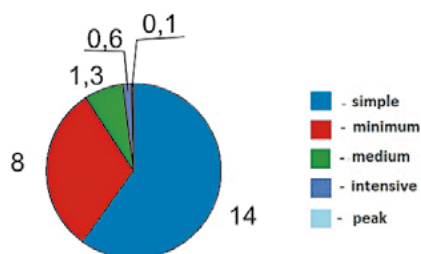
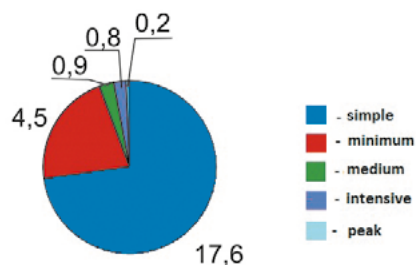


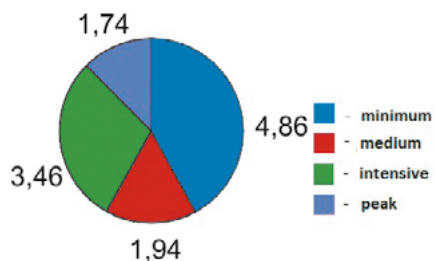
Figure 5. Graph of the average daily water consumption for the building



A) duration of water consumption mode, hour



B). Duration of the regime during the maximum water consumption



C). Volume of water during maximum water demand

Figure 6. Water consumption mode

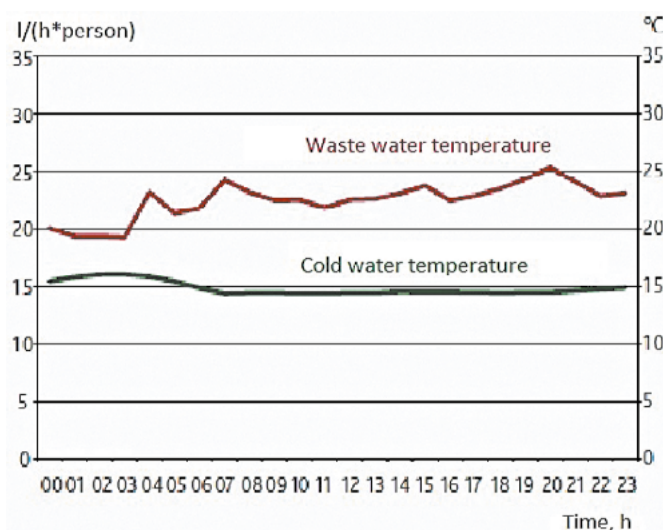


Figure 7. Change in temperature during the day

Due to the high temperature level, wastewater can be classified as an ideal heat source for a heat pump system. The wastewater storage tank compensates for fluctuations in the amount of incoming wastewater during the day and at the same time serves as the installation site for a one-way heat

exchanger that absorbs heat from the wastewater. The heat pump transfers the received thermal energy to the heat exchanger, which serves to heat the water. The system is designed for two-stage water heating: the heat pump preheats drinking water, after which the second heat generator (for example, a conventional gas boiler) raises the temperature of the preheated water to the temperature required for hot water supply - 60 °C. This is done in order to prevent the growth of bacteria and to ensure the hygienic requirements for DHW systems.

Due to the saturation of the nutrient medium of the wastewater, as expected, the formation of biofilms occurred on all contact surfaces

The study showed that in order for the system to work effectively, it is necessary to reduce the formation of biofilm on the part of the heat exchanger that comes into contact with wastewater, for example, using innovative and automated cleaning methods. wastewater heat recovery directly in the building can be considered as a promising technology that allows increasing the energy and resource efficiency of heating devices in buildings.

In most cases, as mentioned earlier, energy costs at boiler houses are also related to the quality of the source water and require the installation of treatment facilities (Figure 8).



Figure 8. Water treatment station for a boiler room

Conclusions. The proposed control system for the water supply system of the boiler house provides for the zoning of territories, the identification of real consumption rates, and the accounting of consumption using smart meters.

Pilot studies show that as a result of targeted management of the system, it is possible to reduce water losses (by 20% within the framework of the project) and use the technological reserve for upgrading systems, taking into account wastewater heat recovery.

Bibliography

1. Porshnev V.N. Improving the system of accounting for water consumption and payments for cold, hot water and thermal energy in Moscow / V.N. Porshnev // *Energy Saving*, 6. - 2004.
2. Nasonkina N.G.. Improving the environmental safety of drinking water supply systems. Makeevka, DonNASA, - 2005. - 181 p.
3. Primin O.G. Obespecheniye nadezhnosti i dolgovechnosti vodoprovodnykh truboprovodov / O.G. Primin // *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy assotsiatsii "Vodokanalekologiya"*. - 2013. - P. 42-54.
4. Sigin A.P. About improvement of calculations for water consumption / A.P. Sigin, E.V. Masalov, L.V. Novikova // *MGUP Mosvodokanal. Energy Saving* — 7. — 2005.
5. Nasonkina N.G. Water supply system for increased comfort. Communal state of the city / N.G. Nasonkina, A.V. Chumak, M.V. Lindin, O.A. Chumak, M.Yu. Gutarova. - Kharkiv. — 2013 — P. 198-206.
6. Angkasuwansiri T. Comprehensive list of Parameters Affecting Wastewater Pipe Performance / T. Angkasuwansiri, S.K. Sinha // *Technology Interface International Journal*, 13(2), P. 68-79.
7. Matthews H. Life cycle assessment: Quantitative approaches for decisions that matter / H. Matthews, C. Hendrickson, D. Matthews. — 2015. — 320 p.
8. Thomas A. A Framework to Evaluate the Life Cycle Costs and Environmental Impacts of Water Pipelines / A. Thomas, B.R. Mantha, C.C. Menassa // *Pipelines 2016*, P. 1152-1163.
9. WERF. Renewal Engineering for Drinking Water Pipelines: Synthesis Report. Water Environment Research Foundation, Alexandria. — 2014.
10. VA WERF. Condition Assessment for Drinking Water Pipelines: Synthesis Report. Water Environment Research Foundation, Alexandria. — 2013.
11. Maslak V. Evaluation of technical condition of water supply networks on undermined territories / V. Maslak, N. Nasonkina, V. Sakhnovskaya, M. Gutarova // *Procedia Engineering (Volum 117)*. - 107 (2015) P. 985-996.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Планируемый к изданию 22-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 стилиобразования, 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 февраля 2023 г. по адресу:
86123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, дом. 2,
ГОУ ВПО «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

НАГРАЖДЕНИЕ И ИНТЕРАКТИВ: в ДонНАСА отметили Юбилей академии и Международный день студента



В четверг, 17 ноября, в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры состоялись мероприятия, посвященные 50-летию вуза и 75-летию подготовки инженеров-строителей в Донбассе. А еще в этот день в Зимнем саду ДонНАСА состоялось традиционное празднование Международного дня студента.

Конечно, празднование было не столь многолюдным, как обычно, но всё же, многие студенты нашли возможность приехать в академию на несколько часов и проникнуться атмосферой полувекового юбилея alma mater, память о котором останется на всю жизнь.

Ректор ДонНАСА Николай Михайлович Зайченко на этом мероприятии также побывал, несмотря на плотный график торжеств. Первый проректор академии Виктория Геннадиевна Севка также посетила праздник юности и находилась среди зрителей.

Поздравляя студентов, Николай Михайлович кратко рассказал им основные вехи истории вуза, посоветовав, чтобы узнать подробности, ознакомиться с книгой «ДонНАСА: полвека славного пути», которую презентовали в академии 15 ноября.

— Конечно же, основная задача академии, как и любого учебного заведения — обучать студентов. Но мы, преподаватели, не просто обучаем вас, мы живем ради вас, сама академия существует ради вас. В 2014-м году на собрании коллектива ДонНАСА, когда от нас требовали перевестись на подконтрольную Киеву территорию, мы приняли единогласное решение остаться здесь для того, чтобы вы могли учиться, чтобы у вас и у всего Донбасса было будущее. Пока есть вы — есть академия. И я верю, что так будет всегда, что каждый из вас обязательно впишет свое имя в историю нашего вуза, и будет достойно его представлять.

Мы все с вами — одна большая семья! — сказал ректор.

Николай Михайлович наградил ребят, проявивших себя в науке, учебе, активной гражданской позиции. Он вручил студентам и выпускникам ДонНАСА нагрудные знаки «Лучший студент», выпущенные специально к Юбилею академии.

После награждения, ведущие предложили участникам мероприятия праздничный интерактив. Их разделили на пять команд по числу факультетов академии. Каждая команда должна была встать на определенную смысловую точку, а именно: «Фотозона», «Необычные шахматы», «Громкий разговор», «Слепая фигура» и «Квиз-Плиз». Там командам были предложены разные задания, на выполнение которых давалось время. Затем ребята менялись зонами. В итоге каждая команда побывала на каждой точке и выполнила все задания. Организаторы отмечают, что это было не соревнование, а повод для создания праздничного настроения, что отлично удалось.

Поздравляем ребят с Юбилеем и с Днем студента, желаем им успешной учебы, скорейшего мира и крепкого здоровья. Надеемся, что в следующем году мероприятия к этому празднику будут проведены с привычным размахом.

ПОЗДРАВЛЕНИЕ С ЮБИЛЕЕМ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОТРУДНИЧЕСТВА: АКАДЕМИЮ ПОСЕТИЛ КООРДИНАТОР СОТРУДНИЧЕСТВА СПБПУ С ВУЗАМИ ДНР И ЛНР ПРОФЕССОР Н.И. ВАТИН



В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры 15-17 ноября проходил цикл торжественных мероприятий, посвященных празднованию 50-летнего Юбилея Академии.

Поздравить ДонНАСА с Юбилеем приехал координатор сотрудничества Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого с вузами ДНР и ЛНР, профессор, заведующий лабораторией самовосстанавливающихся конструкционных материалов Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии» Николай Иванович Ватин.

Николай Иванович был одним из почетных гостей торжественного заседания Ученого совета Академии, посвященного пятидесятилетию вуза. Он передал поздравление ректора СПбПУ, академика РАН А.И. Рудского. От себя лично, поздравляя коллектив, Николай Иванович вспомнил многолетнее сотрудничество с ДонНАСА, отметив, что академия, а тогда Макеевский инженерно-строительный институт, был кузницей научных кадров для всего Советского Союза – в 80-х годах все работы, касающиеся проектирования, возведения и эксплуатации большепролетных и пространственных металлоконструкций, в СССР так или иначе координировались Макеевской научной школой металлостроительства и даже совещания и конференции Всесоюзного масштаба проводились в Макеевке.

– Эта традиция должна быть возрождена, потенциал у вуза есть, а ДонНАСА должна снова стать одним из ведущих строительных вузов России! – сказал Н.И. Ватин.

Это не первый визит Питерского коллеги в академию. По итогам прошлого визита профессора Ватина Н.И. с учетом потребности в доступе к цифровым базам современной научной и учебной литературы всем обучающимся ДонНАСА был предоставлен доступ к Цифровой библиотеке Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. В этот визит профессор Н.И. Ватин передал от СПбПУ в дар к юбилею ДонНАСА 2 персональных компьютера в комплекте для библиотеки академии и подарки для студентов – брендированные футболки, толстовки и другую мерчевую продукцию.

Также в рамках визита профессор Н.И. Ватин обсудил с учеными академии рабочие вопросы выполнения исследовательской темы «Научное обоснование новых подходов к проектированию оптимальных пространственных строительных металлоконструкций высокого уровня ответственности», выполняемой совместно ДонНАСА и СПбПУ в рамках гранта Российского научного фонда по приоритетному направлению деятельности «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами».



ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»



ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2



+38(0623) 43-70-33



mailbox@donnasa.org