



ISSN 2617-1848

СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (17) декабрь 2021



НАШИ ПАРТНЕРЫ:



Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства ДНР



Министерство образования
и науки ДНР

ИНТЕГРАЦИЯ С РФ — В ДЕЙСТВИИ: УЧЕНЫЕ ДОННАСА ОБСУДИЛИ ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕНЕДЖМЕНТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



Преподаватели кафедры «Менеджмент строительных организаций» ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», а также студенты профилей подготовки «Производственный менеджмент в строительстве» и «Проектное управление в строительстве» приняли активное участие в работе Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы менеджмента в строительстве», которая проходила 25-26 ноября в Санкт-Петербурге.

Организатором конференции выступила кафедра «Менеджмент в строительстве» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. В этом году основная работа участников конференции прошла в режиме видеоконференцсвязи.

Цель проведения конференции – обсуждение актуальных фундаментальных и прикладных задач в процессе совершенствования системы управления в строительстве.

С учётом научного и практического опыта были выделены основные тематические блоки конференции: проблемы и перспективы современного управления в строительстве; проблемы менеджмента в условиях цифровой трансформации строительной сферы; управление человеческими ресурсами в строительстве в условиях дефицита рабочих кадров; проблемы взаимодействия участников строительного рынка в условиях перехода на проектное финансирование.

С научным докладом на тему «Проблемы и перспективы управления строительным комплексом территории с вновь образованной государственностью в условиях военного времени» на конференции выступил заведующий кафедрой «Менеджмент строительных организаций» ДонНАСА, д.э.н., к.т.н., профессор М. Ф. Иванов. Доклад был подготовлен совместно с аспирантом, ассистентом кафедры А. С. Тарасовым. В выступлении представлены исследования по специфике управления восстановлением строительного комплекса ДНР и проблематика, с которой сталкиваются строительные организации Республики. Также учеными были обоснованы пути решения задач, направленных на развитие строительного комплекса ДНР в современных условиях.

Участники конференции отметили важность проведения мероприятия для эффективного обмена опытом, выработки конструктивных предложений по дальнейшему взаимодействию в области развития менеджмента в строительной отрасли.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор	Е.В. ГОРОХОВ, д. т. н., профессор
Зам. главного редактора (научный редактор)	Н.М. ЗАЙЧЕНКО, 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 № 4 от 29.11.2021

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 27.12.2021. Формат 60 × 90¹/₈.
Бум. мелов. Усл. печ. л. 5,85. Тираж 300 экз. Заказ № 48.

ООО «Издательско-полиграфическое предприятие «Проминь»
283059, г. Донецк, пр. Ильича, 109а
Свидетельство о государственной регистрации № 27235,
выдано 03.12.2014 года Департаментом государственной
регистрации Министерства доходов и сборов
Донецкой Народной Республики

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Агеев В.Г. — НИИГД «Респиратор», ДНР
Бенаи Х.А. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Большаков А.Г. — ИрНТУ, РФ
Братчун В.И. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Брюханов А.М. — ГУ МакНИИ, ДНР
Высоцкий С.П. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Гайворонский Е.А. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Горожанкин С.А. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Горохов Е.В. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Дорофиев В.В. — ГОУ ВПО «ДонаУиГС при Главе ДНР»
Долженков А.Ф. — ГУ МакНИИ, ДНР
Дрозд Г.Я. — ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. Даля»
Ефремов А.Н. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Зайченко Н.М. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Иванов М.Ф. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Куликов Н.И. — ЮРГПУ (НПИ), РФ
Левин В.М. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Левченко В.Н. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Лобов И.М. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Лобов М.И. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Лукьянов А.В. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Мамаев В.В. — НИИГД «Респиратор», ДНР
Муксинов Р.М. — КРСУ, Кыргызстан
Мушанов В.Ф. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Нагаева З.С. — ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
Назим Я.В. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Найманов А.Я. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Насонкина Н.Г. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Наумец С.С. — МИНСТРОЙ ДНР
Нездойминов В.И. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Нечепаев В.Г. — ГОУ ВПО «ДонНТУ», ДНР
Олексюк А.А. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Пенчук В.А. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Петраков А.А. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Пономоренко Е.В. — СамГТУ, РФ
Радионых Т.В. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Севка В.Г. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Семченков Л.В. — МИНСТРОЙ ДНР
Сердюк А.И. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Тищенко В.П. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Шаленный В.Т. — ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
Шолух Н.В. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Югов А.М. — ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР

СОДЕРЖАНИЕ

**ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ
СОВРЕМЕННОЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ
СРЕДЫ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ
ЗАСТРОЙКИ***А. В. Михайлов*

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА
ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ЖИЛОЙ
ЗАСТРОЙКИ ПО УРОВНЮ ШУМА ОТ
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
НА МАГИСТРАЛЬНЫХ УЛИЦАХ
(на примере г. Донецк)4

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ*Е. Э. Самойлова, Р. В. Фролов, К. В. Терехов*

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМАЧИВАНИЯ
В СИСТЕМЕ «МИНЕРАЛЬНЫЙ
МАТЕРИАЛ – ОРГАНИЧЕСКОЕ
ВЯЖУЩЕЕ» 11

А. К. Кралин, М. Г. Бикашвили, А. С. Рябов

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПРИМЕНЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО
ШЛАКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
ФРИКЦИОННЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ
ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СМЕСЕЙ..... 16

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

ENVIRONMENTAL ASPECTS
OF WATER SUPPLY SOURCES.....24

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ
ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД***В. В. Маркин*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
ИЛОВОГО ИНДЕКСА ОТ НАГРУЗКИ
НА АКТИВНЫЙ ИЛ НА ГОРОДСКИХ
КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ
СООРУЖЕНИЯХ30

SUMMARY

*A. V. Mikhailov***URBAN PLANNING ASSESSMENT OF UR-
BAN AREAS' RESIDENTIAL DEVELOPMENT
BY THE NOISE LEVEL FROM TRAFFIC FLOWS ON
THE MAIN STREETS (BASED ON DONETSK CITY
EXAMPLE)**

This article discusses the of the existing level analy-
sis' of noise pollution in the territory of the quarter locat-
ed in the Kalininsky district of Donetsk and bounded by
the main streets: Ilyicha Avenue, Maria Ulyanova Street,
Shevchenko Boulevard and Shakhtostroiteley Avenue. The
equivalent and maximum levels of penetrating noise in res-
idential premises and on the territory of residential build-
ings are considered here. A classification of methods for
combating noise in an urban environment is presented in
our research. In-situ measurements and an acoustic calcu-
lation of the noise characteristics of a road traffic flow for
the daytime were carried out, based on the average hourly
traffic intensity for a two-hour period with the highest traf-
fic intensity. The article presents the results of a field survey
of the dynamics of traffic intensity of traffic flows for all
types of vehicles on the highway in the morning rush hours
along Ilyicha Avenue in the city of Donetsk. A noise map
has been developed in the residential area of the Kalinin-
sky district. The main directions of noise protection mea-
sures for the quarter under consideration were proposed.

*E. E. Samoilova, R. V. Frolov, K. V. Terekhov***ANALYSIS OF THE WETTING PROCESS
IN THE SYSTEM «MINERAL MATERIAL – ORGAN-
IC BINDER»**

A research of the mineral powders' wetting in the
preparation of asphalt-polymer binders has been carried
out in this article.

The properties of the asphalt binder are largely de-
termined by the interaction at the interface between the
mineral powder and the organic binder (MP-OM), and the
parameters of this interaction are determined, first of all,
by the processes at the interface – wetting and spreading.
Good wetting is a prerequisite for a strong adhesive bond
in the “mineral material – organic binder” system and,
therefore, for the specified mechanical properties of the
composite material [1-8]. When receiving asphalt binders,
immersion wetting takes place, the main characteristic of
which is the heat of wetting [9].

The heat of wetting (change in enthalpy ΔH) was de-
termined under isothermal conditions on a DAK-1-1A
calorimeter in the automatic thermo-EMF compensation
mode.

The process of combining the mineral blemish (MP)
with bitumen was carried out by breaking a thin-walled
ampoule in a calorimetric glass using a special device for
the DAK - 1 - 1A device, followed by mixing the compo-
nents. The thermal effect of the breaking procedure itself
was preliminarily determined.

*A. K. Kralin, M. G. Bikashvili, A. S. Ryabov***ENVIRONMENTAL ASPECTS GRANULAR
SLAG'S USING FOR THE PREPARATION OF FRIC-
TION AND COMBINED DEICING MIXTURES**

In our article we used the basis of the normative doc-
umentation, which has been using in the field of winter

SUMMARY

road maintenance. Based on it, a classification of anti-icing materials is presented, their properties by a number of indicators and the requirements for them are considered here. The analysis of the physical and mechanical properties of granular slag, which is used as a frictional anti-icing material, has been carried out. The scheme of fixing grains of friction material on the surface of an ice film to increase the abrasiveness of the surface of the carriageway of highways is considered. The molten ability's dependences of the salts on the ice temperature, the amount of salts added to the granular slag on the ice temperature and its thickness are presented, and recommendations are given on the choice of salts that play the role of a chemical component of combined anti-ice mixtures. The mass characteristics of the slag-salt mixture and its components at certain ice temperatures have been determined.

N. G. Nasonkina, E. A. Feskova, L. N. Bogak, V. S. Zaburdaev, O. E. Zhukov

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF WATER SUPPLY SOURCES

The article analyzes factors affecting reliability of operations of drinking water supply sources, and proposes a model for managing risk factors. The results of field studies are presented. The main functional purpose of environmental standards, as characteristics of the natural state of surface waters in the absence of anthropogenic load, is to assess the ecological well-being of water bodies to determine a set of water protection measures to achieve and maintain the specified water quality standards. Recommendations and guidelines for the ordering and organization of the territories of the three zones of the sanitary protection zone are proposed, as well as the rules for development and land use within the boundaries of the sanitary protection zone, taking into account its functional and intended use. Based on the results of field studies, three zones of sanitary protection zones were developed for capturing, considering the existing urban planning situation.

V. V. Markin

THE RESEARCH OF THE SLUDGE INDEX'S DEPENDENCE ON THE LOAD ON ACTIVATED SLUDGE AT URBAN SEWAGE TREATMENT PLANTS

The article is devoted to the research of the of the sludge index's dependence on the load on activated sludge according to BODp at sewage treatment plants in a number of settlements of Donbass, operating at low loads. As a result of the research, it was found that in the range of loads on sludge from 25 to 180 mgBODp / (g In addition, it was determined that in the specified range of loads, provided that the main technological parameters of the biological treatment process are maintained at the required levels, the sludge index is mainly in the range from 80 to 130 cm³ / g, i.e., activated sludge retains good sedimentation properties, which allows for an efficient biological treatment process.

CONTENTS

PROCESSES OF FORMATION OF A MODERN URBAN CONSTRUCTION ENVIRONMENT OF URBAN DEVELOPMENTS

A. V. Mikhailov

URBAN PLANNING ASSESSMENT OF URBAN AREAS' RESIDENTIAL DEVELOPMENT BY THE NOISE LEVEL FROM TRAFFIC FLOWS ON THE MAIN STREETS

(based on Donetsk city example).....4

CONSTRUCTION MATERIALS

E. E. Samoilova, R. V. Frolov, K. V. Terekhov

ANALYSIS OF THE WETTING PROCESS IN THE SYSTEM «MINERAL MATERIAL –

ORGANIC BINDER» 11

A. K. Kralin, M. G. Bikashvili, A. S. Ryabov

ENVIRONMENTAL ASPECTS GRANULAR SLAG'S USING FOR THE PREPARATION

OF FRICTION AND COMBINED

DEICING MIXTURES..... 16

INCREASING THE EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEMS

N. G. Nasonkina, E. A. Feskova, L. N. Bogak,

V. S., Zaburdaev O. E. Zhukov

ENVIRONMENTAL ASPECTS

OF WATER SUPPLY SOURCES.....24

INTENSIFICATION OF THE BIOLOGICAL TREATMENT OF URBAN WASTE WATER

V. V. Markin

THE RESEARCH OF THE SLUDGE INDEX'S DEPENDENCE ON THE LOAD ON ACTIVATED SLUDGE AT URBAN SEWAGE TREATMENT

PLANTS30

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ПО УРОВНЮ ШУМА ОТ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ УЛИЦАХ (на примере г. Донецк)

А. В. Михайлов, к.т.н., доцент

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

Аннотация. В данной статье рассматривается анализ существующего уровня шумового загрязнения территории квартала, расположенного в Калининском районе г. Донецка и ограниченного магистральными улицами: проспект Ильича, улица Марии Ульяновой, бульвар Шевченко и проспект Шахтостроителей. Рассмотрены эквивалентные и максимальные уровни проникающего шума в жилых помещениях и на территории жилой застройки. Представлена классификация методов борьбы с шумом в городской среде. Были проведены натурные измерения и акустический расчет шумовой характеристики автомобильного транспортного потока для дневного времени суток, исходя из среднечасовой интенсивности движения за двухчасовой период с наибольшей интенсивностью движения транспорта. Представлены результаты натурного обследования динамики интенсивности движения транспортных потоков по всем видам средств передвижения по магистрали в утренние часы «пик» по проспекту Ильича в городе Донецке. Разработана карта шума в жилом массиве Калининского района. Были предложены основные направления шумозащитных мероприятий для рассматриваемого квартала.

Ключевые слова: транспортный поток, уровень шума, карта шума, шумозащитные мероприятия, магистральные улицы.



Михайлов Александр
Владимирович

Проблема борьбы с шумом, особенно в последнее десятилетие, стала одной из актуальных задач в сфере градостроительства. Снижение уровня шумов обычно сопряжено с техническими трудностями и денежными затратами, даже если необходимые мероприятия по снижению шума предусматриваются на ранней стадии проектирования.

Загрязнения воздушного бассейна чрезмерным шумом заставляют сейчас специалистов различных областей науки и техники решать проблему оздоровления среды городов [4]. Удовлетворение социальных потребностей населения заключается в создании наиболее благоприятных условий для труда, быта и отдыха. В градостроительстве реализация большинства предлагаемых решений проблемы снижения шума в городах находит свое отражение в генеральной схеме шумозащиты. В ее основе лежит один из важнейших на сегодняшний день принципов — улучшение или хотя бы сохранение окружающей городской среды путем разработки такой системы регулирования ее акустического состояния, которая бы позволила свести к минимуму ущерб от шумового загрязнения [9].

Стратегия достижения поставленной цели заключается в разработке основ сравнения существующего состояния городской среды с предполагаемым и выбора приоритетного варианта комплекса шумозащитных мероприятий. При этом предлагаемое акустическое состояние городской среды должно обеспечивать взаимодействие человека и среды на оптимальном уровне, отвечающем действующим в настоящее время стандартам, нормам и правилам.

Выполняя технико-экономические обоснования проекта планировки нового города или реконструкции существующего, необходимо оценить зашумленность территорий, прилегающих к источникам внешнего шума, т.е. определить зону акустического дискомфорта. Эта задача осуществляется с учетом основных закономерностей распространения звука на прилегающих территориях. Другими словами, прогнозируется зашумленность городских территорий.

Одним из наиболее значительных факторов, влияющих на состояние окружающей среды, является рост автомобилизации. На сегодняшний день автомобильный транспорт является крупнейшим источником загрязнения окружающей среды на урбанизированных территориях.

Уровень шумового загрязнения от транспортных потоков представляет наибольшую опасность для здоровья человека, поскольку автомобильный транспорт является источником шума, находящегося в непосредственной близости от мест проживания людей [11].

По различным литературным данным автомобильный транспорт является причиной от 80 до 90 % основных причин акустического загрязнения в городах. Наибольшие значения уровня шума, достигающие в дневное время 70-80 дБА, фиксируются в жилой застройке, примыкающей к высокоинтенсивным транспортным магистралям [1].

В связи с этим создание нормальной шумовой обстановки на селитебной территории является важной задачей, решаемой на стадии проектирования новых объектов и реконструкции сложившейся застройки.

Уровень внешнего шума автотранспортных источников весьма значителен. Уровень звука отдельных легковых автомобилей составляет 74-76 дБА, грузовых — 80-84 дБА; сравним: поездов — 75 дБА, авиационного транспорта — 91 дБА. В Европе отмечена тенденция снижения шума автомобилей. Так, шум двигателя легковой машины был снижен с 80 дБА в 1972 г. до 74 дБА в 1992 г., применяются меры по снижению

шума шин [1]. Однако уровень шума на территории больших городов с учетом увеличения количества автомашин остается практически неизменным.

Для расчетов распространения транспортного шума в жилой застройке за источник обычно принимают не отдельные средства транспорта, а транспортный поток в целом.

Шум такого потока зависит от интенсивности и скорости движения, состава потока, продольного профиля проезжей части и характера застройки вблизи от потока. Уровень шума, создаваемого транспортным потоком, резко колеблется в зависимости от изменения режима движения (движение с места, разгон или торможение), поэтому для измерения создаваемого им шума применяют статистический метод.

Шумовыми характеристиками источников внешнего шума являются: для транспортных потоков на улицах и дорогах — эквивалентный уровень звука $L_{\text{Аэкв}}$, дБА, и максимальный уровень звука $L_{\text{Амакс}}$, дБА, на расстоянии 7,5 м от оси первой полосы движения (для трамваев — на расстоянии 7,5 м от оси ближнего пути) [6].

Для жилых комнат квартир и территорий, непосредственно прилегающих к жилым зданиям, нормы допустимого шума представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в жилых помещениях и на территории жилой застройки [6]

№ п/п	Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровень звука $L_{\text{Ас}}$ (эквивалентный уровень звука $L_{\text{Аэкв}}$, дБА	Максимальный уровень звука $L_{\text{Амакс}}$, дБА
1	Жилые комнаты квартир	7.00-23.00	40	55
		23.00-7.00	30	45
2	Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха, домам-интернатам для престарелых и инвалидов	7.00-23.00	55	70
		23.00-7.00	45	60

Как видно из таблицы 1, разница между допустимым уровнем звука для дня отличается от ночного допустимого уровня на 10 дБА. Это указывает на то, что при разработке шумозащитного мероприятия, учитывая ночной допустимый уровень звука, его эффективность должна быть на 10 дБА выше, чем при учете дневной нормы.

Нормы [6] рекомендуют учитывать характер шума, длительность его возникновения, место расположения объекта, время суток, применяя поправки к допустимым октавным уровням звукового давления и уровня звука.

Проблема борьбы с городскими шумами тесно связана с рациональным преобразованием городской среды, которое должно идти по пути ликвидации или сокращения количества источников шума, локализации зоны эмиссии шума, снижения уровня звука источников и защиты от шума мест пребывания человека [1, 6].

Защита от транспортного шума жилых, общественных зданий и территорий с нормируемыми уровнями шума должна осуществляться с помощью различных методов. Уровень городского шума в жилой застройке может быть снижен несколькими

путями: градостроительными средствами; административно-законодательными; технологическими (в источнике возникновения); строительно-конструктивными и техническими мероприятиями в зданиях (рис. 1).

Как показывает данная классификация, проблема снижения шума может быть решена различными методами. Однако следует учесть, что административные меры в условиях сложившейся застройки, такие как распределение транспортных потоков, могут привести к значительному увеличению экономических издержек. Снижение внешнего шума легкового автомобиля с 80 до 77 дБА увеличивает его стоимость на 1-3 %, снижение шума грузового автомобиля с 90 до 83 дБА увеличивает его стоимость на 2-7 %. Таким образом, необходимо искать иные пути снижения шума в городской застройке.

Общая акустическая характеристика большинства источников шума в городе известна благодаря результатам многолетних измерений шума в городах, проводимых специализированными лабораториями по борьбе с городским шумом [5]. Однако в реальных городских условиях часто возникает необходимость проводить натурные измерения с целью:

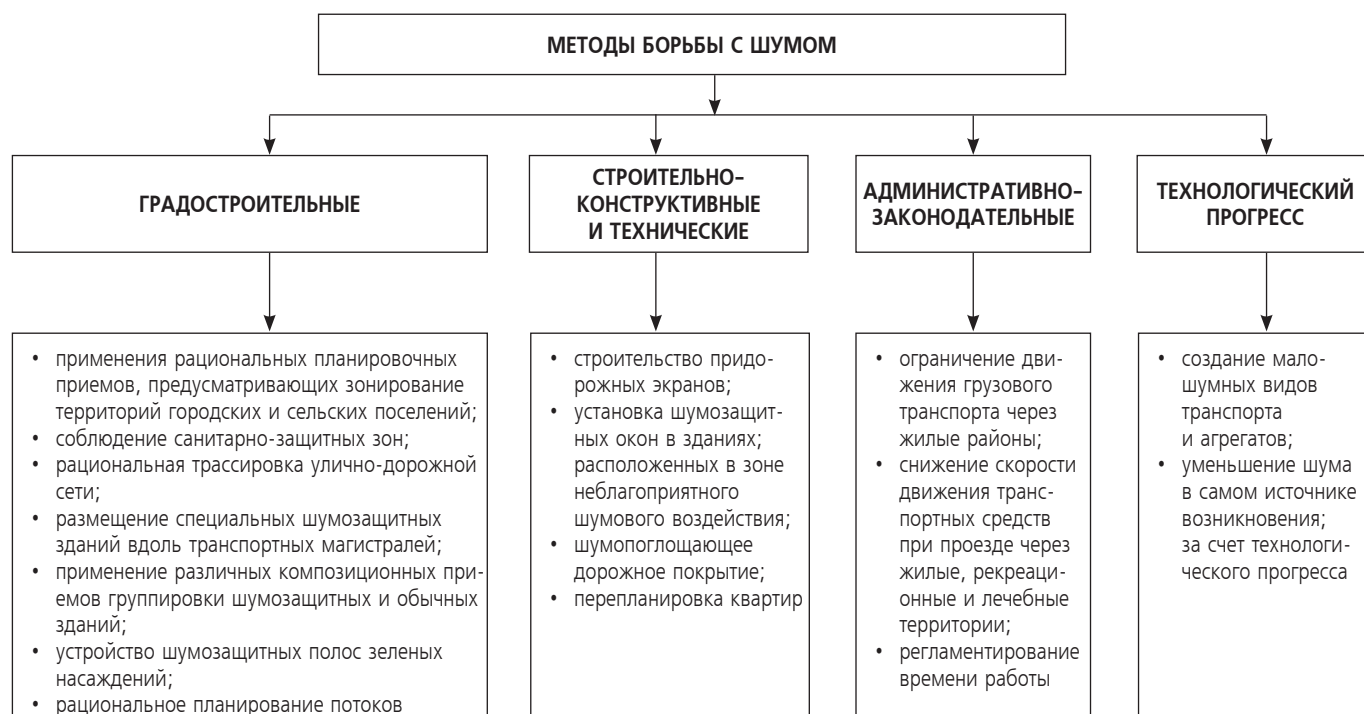


Рис. 1. Классификация методов борьбы с шумом

- определения уровней шума транспортных потоков и других источников городского шума для построения карты шума города;
- уточнения закономерностей распределения шума в условиях городской застройки;
- уточнения эффекта снижения шума за экранами;
- анализа шумового режима в жилой застройке.

Рассмотрим лишь один из часто применяемых методов измерения шума на примере одного из кварталов, расположенного в Калининском районе города Донецка.

При разработке карты шума большой объем работы приходится на измерение уровня шума транспортных потоков на улицах и дорогах.

Транспортный шум является доминирующим в городе. Шум улиц образуется из шума отдельных транспортных средств: легковых и грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов, мотоциклов и мопедов, трамваев [9].

Так как акустический комфорт на территории жилых, общественно-деловых и рекреационных зон и в помещениях жилых и общественных зданий

должен быть обеспечен в любое время суток, эквивалентный и максимальный уровни звука следует определять для периодов максимальной шумности транспортного потока — в час «пик» для дневного периода суток и в наиболее шумный час ночного периода суток [7, 8].

Натурные измерения и акустический расчет шумовой характеристики автомобильного транспортного потока были проведены для дневного времени суток, исходя из среднечасовой интенсивности движения за 2-х часовой период с наибольшей интенсивностью движения транспорта (рис. 2). Измерения уровня шума от магистральных дорог в Калининском районе г. Донецка проводились с помощью шумомера UNI-T UT353.

Ночью исследование не проводилось, т.к. в Республике действует комендантский час с 23.00 до 5.00, поэтому интенсивность транспортных средств в это время сведена к минимуму.

Оценка интенсивности, состава и скорости движения транспортных потоков проводилась в процессе проведения натурных измерений транспортного шума, а данные фиксировались в планшете. Интен-



Рис. 2. Натурные измерения уровня звука от транспортного потока по проспекту Ильича

сивность движения грузовых автомобилей и автобусов учитывается как отдельный фактор, так как шум, производимый данными транспортными средствами, значительно превышает шум легковых транспортных средств, что подтверждается не только нормативной документацией, но и практическими данными исследований. К дорожным условиям относят наличие продольного уклона, тип покрытия проезжей части, наличие пересечений в одном уровне со светофорным регулированием и без него [3].

Наиболее приемлемым документом, отображающим в градостроительном проектировании шумовой режим до и после осуществления шумозащитных мероприятий, является карта шума территории жилой застройки. Карты шума урбанизированных территорий и населенных мест, разработанные на текущий период, дают нам четкое представление о шумовом режиме различных территорий и жилой застройки на сегодня.

Перспективные карты зашумленности городских и урбанизированных территорий — это вероятное предположение о будущем шумовом режиме населенных мест с относительной степенью достоверности [2, 9].

Для этого на планировочную подоснову территории с нанесенными на нее транспортными магистралями, жилыми и прочими объектами, нанесем с шагом в 5 дБА (дБ) контуры равных значений показателя шума.

На рис. 3 представлена карта шума, полученная автором на основе проведенного исследования, построенная с учетом данных об уровнях шума на основных магистралях, прилегающих к рассматриваемому кварталу Калининского района г. Донецка, ограниченная магистральными улицами: пр-т Ильича, ул. Марии Ульяновой, бульвар Шевченко, пр-т Шахтостроителей.



Рис. 3. Карта шума жилого массива в Калининском районе г. Донецка

Картографическая оценка шумового режима на рис. 3 дает представление о шумовом режиме исследуемой территории в виде горизонтальной проекции с учетом действия автотранспортных магистралей, внутриквартальных проездов и плоских источников шума внутриквартальных стоянок для временного хранения автотранспорта.

После построения карты шума от всех рассмотренных источников шума были определены доминирующие источники шума, которые имеют наибольшее влияние на шумовой режим территории жилой застройки.

К основным внутриквартальным источникам шума, которые были выявлены в рассматриваемом квартале Калининского района, относятся площадки разного функционального назначения, автомобильные парковки, внутриквартальные проезды

и трансформаторные подстанции. Площадки разного функционального назначения (детские, хозяйственные, спортивные) характеризуются временным влиянием на шумовой режим территории квартала, при этом равные шумы от этих источников незначительные с учетом нормативов относительно уровней шума на территории жилой застройки.

Проведенные исследования по определению уровня шума от четырех магистралей вокруг квартала показали, что уровень шума зависит от интенсивности транспортного потока и количества полос. Наиболее высокие значения были определены по проспекту Ильича и достигали 80 дБА.

С учетом определенных нами доминирующих источников шума были определены основные направления разработки шумозащитных мероприятий.

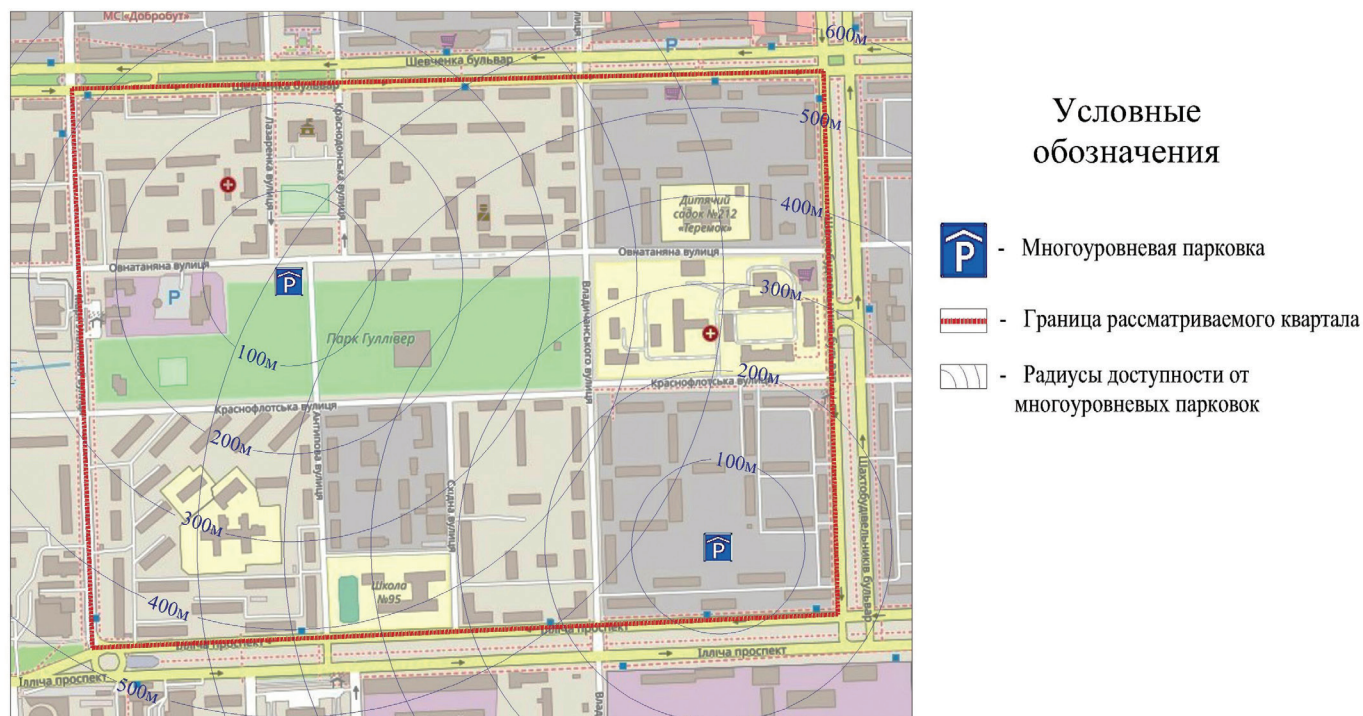


Рис. 4. Схема размещения и радиусов доступности многоуровневых парковок

Для снижения уровня шума внутри квартала на рассматриваемой территории необходимо строительство двух многоэтажных парковок (рис. 4).

Место размещение первой парковки предусматривается вместо гаражного кооператива, расположенного по улице Овнатаняна (рис. 5), а второй — в квартале по проспекту Ильича вместо автомойки.

Необходимо запретить стихийные стоянки и въезд прямо во дворы при помощи шлагбаума. Так же обязательно обеспечить качественное состояние дорожного полотна на городских улицах и внутриквартальных проездах. Данные мероприятия внутри квартала позволяют снизить уровень шума. Однако следует уважать городское пространство и окружающую среду, поэтому выбрать меры защиты от шума непросто: это зависит от местоположения и типа транспортного потока, вызывающего шум. Кроме того, иногда недостаточно использовать одну и необходимо комбинировать несколько мер [10].

Согласно СП 51.13330.2011 [6] требуемая звукоизоляция наружных ограждающих конструкций

(в том числе окон, витрин и других видов остекления) от транспортного шума определяется расчетным путем, исходя из норм шума в защищаемом помещении, дБА, а за величину звукоизоляции принимается величина $R_{Атран}$, дБА, представляющая собой изоляцию внешнего шума, производимого потоком городского транспорта.

Эффективным шумозащитным средством в жилых помещениях являются специальные шумозащитные окна. При выборе конструктивного решения окон следует учитывать требования к воздухообмену в помещениях дома. Так, при превышении допустимых уровней на фасаде жилого дома возникает необходимость применения специальных шумозащитных вентиляционных окон, которые обеспечивают необходимую защиту от шума в режиме вентиляции при помощи клапана-глушителя с акустической эффективностью до 40 дБА и более.

В настоящее время наиболее целесообразным является применение готовых конструкций шумозащитных окон, снабженных вентиляционными элементами с глушителями шума.



Рис. 5. Гаражный кооператив по улице Овнатаняна

Произведем расчет требуемой звукоизоляции шумозащитного окна $R_{Атран}^{треб}$ дБА, в соответствии с пунктом 12.9 СП 276.1325800.2016 [8] по формуле 1:

$$R_{Атран}^{треб} = L_{А фас2м} - L_{А доп.пом} - 5,2 = 79,1 - 40 - 5,2 = 33,9 \text{ дБА}$$

где $L_{А фас2м}$ — уровень звука транспортного потока снаружи в 2 м от уличного фасада здания, дБА;

$L_{А доп.пом}$ — допустимый уровень звука в помещении, дБА.

Определив по формуле 1 требуемую звукоизоляцию окна, которая составила $R_{Атран}^{треб}$, находим по таблице 12.3 СП 276.1325800.2016 [8] категорию окна по условиям звукоизоляции. В нашем случае категория окна равна 6.

Шумозащитные окна обеспечивают необходимое снижение шума лишь в закрытом состоянии. При открытии хотя бы узкой створки окна его шумозащитный эффект резко падает. Поэтому, для возможности вентиляции жилых помещений вместе с шумозащитными окнами следует применять специальные приточные шумозащитные устройства (ПШУ) (оконные или стеновые), позволяющие осуществлять нормативную вентиляцию помещений при закрытых окнах и в то же время не допускающие снижения звукоизоляции окна в силу своей особой конструкции. При выборе ПШУ необходимо проверить, способно ли оно обеспечить необходимый воздухообмен в помещении, и, если нет, то необходимо увеличить число ПШУ, обслуживающих помещение.

Подводя итоги, можно сказать, что шумовое загрязнение является глобальной проблемой, особенно в городских районах. Шум имеет много негативных последствий, включая проблемы со здоровьем и финансовые потери. Таким образом, чрезмерный шум должен быть снижен до безопасного, допустимого уровня.

Поиск лучшего решения шумозащиты является частью градостроительной задачи, поэтому он должен осуществляться в комплексе работ по планировке, застройке и благоустройству городов. Все решения должны проверяться расчетом эффективности снижения уровня шума.

Для локализации шумового загрязнения жилых территорий по всему г. Донецку необходимо проведение следующих мероприятий:

1. Строительство шумозащитных экранов вдоль автомагистралей, к которым прилегает жилая территория, с использованием контр-экранов.

2. Ликвидация сквозных проездов.

3. Запрет въезда к жилой территории транспорта, кроме транспорта специального назначения (установка запретных дорожных знаков).

4. Организация улиц с пешеходным движением вместо внутриквартальных проездов.

5. Ликвидация автомобильных стоянок на дворовых территориях и организация подземных и наземных автомобильных стоянок с учетом их прогнозируемых шумовых характеристик, гаражей за пределами территории жилой застройки.

6. Замена обычных оконных заполнений на специальные шумозащитные в домах первого эшелона застройки.

7. Строительство подземных пешеходных переходов для обеспечения непрерывного движения автотранспорта на магистралях.

8. Рациональное планирование территории при новом строительстве с учетом вышеизложенных факторов.

Все дополнительные организационные мероприятия прямо или косвенно связаны с основными и органически их дополняют, обеспечивая кроме акустического комфорта безопасность пешеходного и автомобильного движения.

При реализации мероприятий по снижению транспортного шума на городских магистралях районного и местного значения целесообразно рассматривать решения по созданию приоритета для менее шумных транспортных средств.

Результаты, полученные и представленные в этой статье, представляют собой интерес для профессионалов, работающих в области градостроительства, экологической безопасности городов, архитекторов и др. Наконец, это очень важно для руководителей городов, стремящихся найти решения проблем городского планирования и контроля уровня шумового загрязнения окружающей среды.

Список литературы

1. Буторина, М. В. Составление карты шума автомобильных дорог и ее использование для снижения шума в жилой застройке (на примере транспортного обхода вокруг Санкт-Петербурга) : диссертация... кандидата технических наук : 01.04.06 / Буторина Марина Вадимовна; [Место защиты: Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова]. — Санкт-Петербург, 2002. — 204 с. : ил.
2. Ваель, Х. Ф. Айєш. Забезпечення безпеки примігстральної території з малоповерховою забудовою за чинником шуму: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охорона праці»/ Ваель Х. Ф. Айєш. — Д.: Придніпровська держ. академія будівництва та архітектури, 2005. — 22 с.
3. Крикун, С. Н. Обоснование методики оценки транспортного шума при определении транспортно-эксплуатационных показателей городских автомобильных дорог (на примере города Магадана): диссертация... кандидата технических наук: 05.23.11 / Крикун Сергей Николаевич; [Место защиты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет»]. — Хабаровск, 2019. — 142 с. : ил.
4. Самойлюк, Е. П. Борьба с шумом в градостроительстве. — Киев, «Будівельник», — 1975 — 128 с.
5. Самойлюк, Е. П. Борьба с шумом в населенных местах / Самойлюк Е. П., Денисенко В. И., Пилипенко А. П. — К.: Будівельник, 1981. — 144 с.
6. СП 51.13330.2011. Защита от шума = Saund protection: свод правил: актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. — Москва : Проспект, 2017. — 54 с. : ил., табл.
7. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений [Текст] = Urban development. Urban and rural planning and development : свод правил: Пересмотр 34.13330.2012* «СНиП

- 2.05.02-85* *Автомобильные дороги*: издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр : [взамен СП 42.13330.2011] : дата введения 2017-07-01 / исполнитель — ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России при участии Москомархитектуры» [и др.], [принят] Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. — Москва : Стандартинформ, 2017. — IV, 85 с. : табл.; 29 см.
8. СП 276.1325800.2016 *Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков [Текст] = Buildings and territories. Protection design rules from traffic noise: свод правил: издание официальное : приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. N 893/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г.: дата введения 2017-06-04 / исполнители — федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова) — Москва: Стандартинформ, 2016. — 155 с.: табл.*
 9. Ткач, Н. А. Оценка и прогнозирование влияния автомобильного транспорта на состояние шумового загрязнения селитебных территорий: диссертация... кандидата технических наук: 21.06.01 / Ткач Наталья Алексеевна; [Место защиты: ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»]. — Днепр: Днепропетровск, 2015. — 183 с. : ил.
 10. Martina Zagvozda, Vesna Dragcevic. Examples of traffic noise abatement in the city of Osijek. - *Elektronicki casopis gradevinskog fakulteta Osijek* — December 2015.
 11. Alberto Bull. Traffic congestion. The problem and how to deal with IT [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37898/1/LCG2199P_en.pdf - дата обращения 17.11.2021.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМАЧИВАНИЯ В СИСТЕМЕ «МИНЕРАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ – ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЯЖУЩЕЕ»

Е. Э. Самойлова, к.т.н., доцент; Р. В. Фролов; К. В. Терехов

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

Аннотация. Проведено исследование смачивания минеральных порошков при получении асфальтополимервяжущих веществ.

Свойства асфальтовяжущего во многом определяются взаимодействием на границе раздела фаз минеральный порошок – органическое вяжущее (МП-ОВ), а параметры этого взаимодействия определяются, прежде всего, процессами на поверхности раздела фаз – смачиванием и растеканием. Хорошее смачивание является необходимым условием прочного адгезионного соединения в системе «минеральный материал – органическое вяжущее» и, следовательно, заданных механических свойств композиционного материала [1-8]. При получении асфальтовяжущих имеет место иммерсионное смачивание, основной характеристикой которого является теплота смачивания [9].

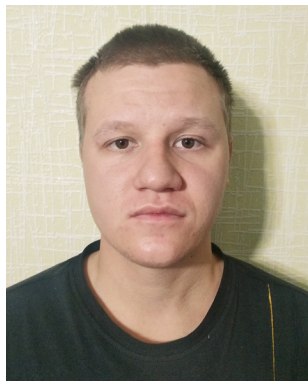
Теплоту смачивания (изменение энтальпии ΔH) определяли в изотермических условиях на калориметре ДАК-1-1А в режиме автоматической компенсации термо-ЭДС.

Процесс совмещения минерального порошка (МП) с битумом выполнялся разбиванием тонкостенной ампулы в калориметрическом стакане с помощью специального приспособления к прибору ДАК-1-1А с последующим смешением компонентов. Предварительно определяли тепловой эффект от самой процедуры разбивания.

Ключевые слова: смачивание, минеральный порошок, битум, асфальтовяжущее, асфальтополимервяжущее вещество, теплота смачивания, калориметр, композиционные материалы.



Самойлова
Елена Эдуардовна



Фролов
Роман Витальевич



Терехов
Кирилл Вячеславович

ВВЕДЕНИЕ

Свойства асфальтобетонов определяются, прежде всего, качеством органического вяжущего и энергией взаимодействия на поверхности раздела фаз «битум – минеральный материал». Необходимо отметить, что вязкие нефтяные дорожные битумы, используемые для производства горячих асфальтобетонных смесей, характеризуются высокими температурами перехода в упруго-хрупкое состояние, невысокими температурами текучести, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами адсорбционно-сольватных слоев на поверхности минеральных материалов.

Битум как органическое вяжущее является одним из основных дорожно-строительных материалов в силу тех свойств, которые он проявляет в составе дорожных покрытий. Взаимодействие минеральных материалов и органических вяжущих является важнейшим элементом структурообразования в бетонах на органических вяжущих, так как оно, при прочих равных условиях, определяет прочность и деформативность асфальтобетонов при эксплуатационных температурах, способность их противостоять изменяющемуся влажностному режиму и старению [1-8].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Повышение долговечности асфальтобетона для работы в условиях интенсивного и грузонапряженного движения при воздействии агрессивных факторов

окружающей среды возможно при создании структуры асфальтобетона, которая рационально сочетает наиболее плотную упаковку полидисперсных частиц минерального остова (микроструктура плавно переходит в мезоструктуру, а затем в макроструктуру) и непрерывную пространственную сетку эластичного вяжущего с высокими значениями адгезии и когезии при минимально возможной толщине асфальто вяжущего вещества. Важнейшей составляющей структуры долговечного асфальтобетона является контактная зона — зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов. В настоящее время недостаточно изучены химические процессы при формировании композитов на основе МП и битума. Проблема смачивания с термодинамической точки зрения сводится к адсорбции олигомерных и полимерных молекул на границе раздела фаз ОВ-МП [10-13].

Процессы на границе раздела фаз, структура граничных слоев, их влияние на адгезионную прочность и свойства композиционных материалов подробно рассмотрены в работах [1-8].

Целью работы является анализ смачивания минеральных порошков, полученных из мрамора (в дальнейшем — кальцит) и кварцевого песка (в дальнейшем — кремнезем). Размер частиц 1...71 мкм, удельная поверхность 300 м²/кг.

В качестве смачивающей жидкости использован дорожный битум БНД 40/60 с температурой размягчения по КиШ $T_p = 51,5^\circ\text{C}$; растяжимость при 25°C $D_{25} > 1$ м; температура хрупкости $T_{xp} = -17^\circ\text{C}$; температура вспышки более 250°C ; интервал пластичности 69°C ; изменение температуры размягчения после прогрева (160°C) $4,5^\circ\text{C}$; содержание водорастворимых соединений 0,2%; эластичность при $25^\circ\text{C} = 0,3\%$.

С использованием представлений Гуна Р. Б. и Золотарева В. А. [15, 16] были определены индекс пенетрации, коэффициент стандартных свойств и структурно-реологический тип битума.

Индекс пенетрации (1).

$$0,02 \cdot \frac{20 - ИП}{10 + ИП} = \frac{\lg 800 - \lg T_p - 25}{T_p - 25}, \quad (1)$$

где: ИП — индекс пенетрации; П — пенетрация, P_{25} (при 25°C); T_p — температура размягчения по КиШ, $^\circ\text{C}$.

Получено ИП = 0,1.

Коэффициент стандартных свойств битума определен по формуле (2).

$$L_{CT} = \frac{T_p - T_{xp}}{D} = \frac{59 + 17}{100} = 0,69, \quad (2)$$

где: T_p и T_{xp} — соответственно температуры размягчения и хрупкости битума, $^\circ\text{C}$;

D — растяжимость битума при 25°C .

Используемый битум для получения битумополимерного вяжущего относится к III структурно-реологическому типу. Процесс взаимодействия МП и ОВ проходил при температуре 200°C .

Процесс смачивания МП битумом наблюдается и при более низких температурах, в частности, при 150°C , однако он весьма растягивается во времени. Поэтому принята температура 200°C , используемая в технологии производства литых асфальтобетонных смесей [14].

Эксперимент по определению теплоты смачивания (изменение энтальпии ΔH) выполнен в изотермических условиях на калориметре ДАК-1-1А в режиме автоматической компенсации термо-ЭДС.

Процесс совмещения МП с битумом выполнялся разбиванием тонкостенной ампулы в калориметрическом стакане с помощью специального приспособления к прибору ДАК-1-1А с последующим смешением компонентов. Предварительно определяли тепловой эффект от самой процедуры разбивания.

В стакан калориметра помещали навеску МП, а в тонкостенную ампулу — битум (исходный БНД 40/60 или модифицированный битум). В качестве модифицирующего полимера был использован реакционноспособный термопласт Элвалой АМ в количестве 2,5%. Считали тепловой эффект на 1 г МП ($Q = S \times V/V$, где S — площадь под кривой тепловыделения, мм²; V — скорость диаграммной ленты, мм/с; B — калибровочный коэффициент калориметра, Дж/мм·с. $Q_b = Q/m$, где m — масса МП, г).

Минеральные порошки и битум перед исследованием кондиционировали: МП при 150°C до постоянной массы; битум — при 100°C в течение 6 часов. Подготовленные к работе объекты исследования хранили в эксикаторе над безводным хлористым кальцием.

Кроме того, дополнительно для сравнения, как модель, использовали системы «аэросил А-300 — битум»; «активированный уголь АР-А — битум»; «кремнезем — дизельное топливо». Типичные изотермы смачивания приведены на рис. 1. Результаты определения тепловых эффектов смачивания приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Тепловые эффекты смачивания на поверхности раздела «твердое тело — жидкость» (т/ж)

Дисперсная фаза	Величина удельной поверхности Суд., м ² /кг	Смачивающая система	Температура, $^\circ\text{C}$	Теплота смачивания, $-\Delta H$	
				Дж/г	Дж/м ²
Аэросил А-300	2,9·10 ⁴	Битум	200	436,6	1,51
Активированный уголь АР-А	3,5·10 ⁴	Битум	200	21	0,06
Кальцит	0,3	Битум	200	8,3	27,65
Кремнезем	0,3	Битум	200	7,8	26,1
Кремнезем	0,3	Модиф. битум	200	14,7	48,9
Кремнезем	0,3	Диз. топливо	150	11,06	36,9

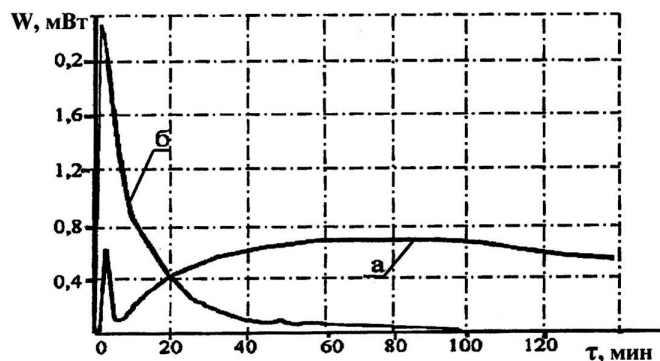
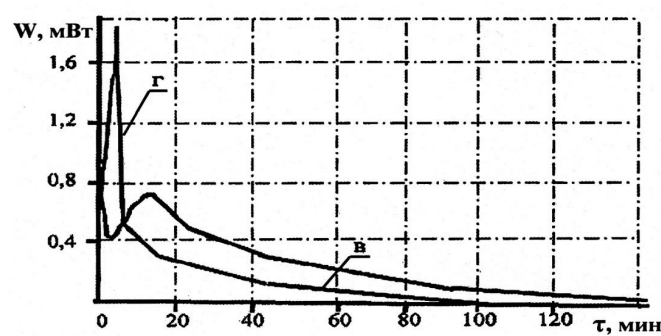
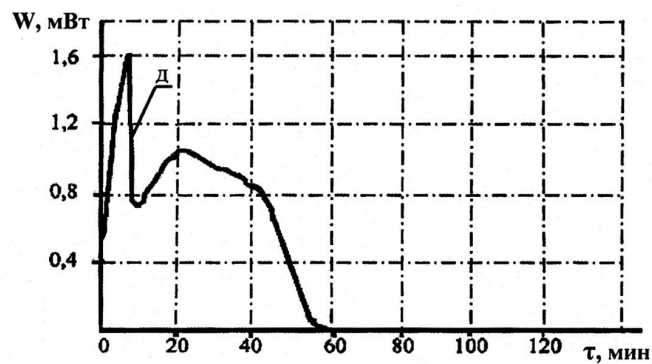


Рис. 1. Тепловыделение при смачивании (а) кальцита дизтопливом при 150 °С ($m_u=0,1080$ г), (б) активированного угля битумом при 200 °С ($m_y=0,1399$ г), (в) аэросила битумом при 200 °С ($m_a=0,0048$ г), (г) кремнезема битумом при 200 °С ($m_k=0,1442$ г), (д) кальцита битумом при 200 °С ($m_u=0,0911$ г). Для (б) $B=3,33\cdot10^{-5}$ Дж/мм·с, в остальных случаях $B=1,65\cdot10^{-5}$ Дж/мм·с.

Как следует из таблицы 1, теплота смачивания ($Q_{см} = -\Delta H$, где ΔH – изменение энтальпии, Дж/м²) для МП, отличающихся химическим составом и видом смачивающей жидкости, мало различается и намного превосходит $Q_{см}$ таких адсорбентов как аэросил и активированный уголь. В то же время $Q_{см}$ для кремнезема дизтопливом (ДТ) при 150 °С лишь немного выше, чем для битума при 200 °С. Последнее можно объяснить тем, что ДТ моделирует мальтеновую (углеводородную) фракцию битума [15], а теплота смачивания уменьшается с повышением температуры [9]. Для сравнения в таблице 2 приведены литературные данные по $Q_{см}$ различных тел.

Сравнение теплоты смачивания аэросила (табл. 1) и силикагеля (табл. 2) свидетельствует о том, что

смачивание аналогичных объектов битумом сопровождается гораздо большим изменением поверхностной энергии ($\Delta E = -\Delta H$), чем при смачивании бензолом. Это можно отнести не только за счет различий молекулярных масс (М) бензола и битума (у бензола М = 78 и от сотен до тысяч а.е.м. у масел, смол и асфальтенов битума).

Известно, что вещества с более высокой молекулярной массой лучше адсорбируются из растворов более низкомолекулярных веществ и, соответственно, при этом выделяется больше тепла [9]. Так, из таблицы 2 следует, что смачивание графена (графитированная сажа) гексаном (М = 86) $Q_{см} = 0,103$ Дж/м² вдвое ниже, чем гексадеканом (М = 226), для которого $Q_{см} = 0,222$ Дж/м².

Таблица 2.

Теплота смачивания по данным [9]

Смачиваемое тело	Удельная поверхность, Суд, м ² /г	Смачивающая жидкость	Температура, °С	Теплота смачивания	
				Дж/г	Дж/м ²
1	2	3	4	5	6
Силикагель	28	бензол	25	2,716	0,09
		октан	25	1,512	0,054
		СНЗОН	25	5,180	0,185
		вода	25	7,308	0,261
TiO2 (анатаз), (рутил)	7,3	бензол	25	1,095	0,150
		октан	25	1,022	0,140
		СНЗОН	25	31,10	0,426
		вода	25	4,05	0,550
Графит	86	бензол	25	9,804	0,114
		октан	25	10,320	0,120
		СНЗОН	25	10,234	0,119
		вода	25	4,128	0,048
Графон	95	гексан	25	9,785	0,103
		гептан	25	10,640	0,112
		октан	25	12,065	0,127
		гексадекан	25	21,090	0,222

Можно предположить, что здесь имеет место избирательная сорбция наиболее полярных и высокомолекулярных компонентов битума из раствора в масляной фракции. Следовательно, преимущественна сорбция более высокомолекулярного компонента из смачивающего раствора на твердой поверхности и, как следствие, формирование более структурированной фазы в приповерхностных слоях [9]. Близость $Q_{см}$ для ряда выбранных нами составов (x_i) свидетельствует о том, что в этом интервале идет процесс формирования структурированного монослоя из молекул гексадекана на поверхности

графона. А рост $Q_{см}$ для чистого гексадекана — признак перехода к формированию следующего, более удаленного от поверхности адсорбционного слоя молекул.

Температура существенно влияет на эти процессы. Так, согласно [9], чем выше температура, тем при более высокой концентрации гексадекана в растворе начинается (x_n) и заканчивается (x_k) формирование монослоя: $x_n \approx 0,05$ (10°C), $\sim 0,10$ (20°C) и $\sim 0,25$ (25°C); $x_k \approx 0,3$ (10°C), $\sim 0,4$ (20°C), $\sim 0,5$ (25°C). При более высоких температурах последующие слои почти не формируются.

Таблица 3.

Теплота смачивания графона гептаном, гексадеканом и их растворами [9]

Температура, $^\circ\text{C}$	Теплота смачивания, мДж/м^2				
	гептан	$x = 0,2$	$x = 0,4$	$x = 0,8$	гексадекан
10	148	191	205	—	—
20	127	185	190	223	247
25	126	180	185	205	222
35	125	168	180	188	197
45	122	148	160	173	180

Суммируя сказанное (избирательная сорбция, влияние температуры на $Q_{см}$), можно резюмировать, что существенно различаются $Q_{см}$ аэросила и кремнезема битумом.

Еще более неожиданным является сопоставление теплоты смачивания МП с $Q_{см}$ аэросила битумом и $Q_{см}$, приведенное в таблице 4. Столь большие различия уже нельзя объяснять рассмотренной выше концепцией избирательной адсорбции и формирования полимолекулярных слоев. Они могут быть обусловлены активацией поверхности МП (кремнезема) при измельчении и последующей сушке. А результатом такой активации являются химические превращения компонентов битума на активных центрах поверхности МП, сопровождающиеся гораздо более высокими тепловыми эффектами.

Из таблицы 4 следует, что нет больших различий $Q_{см}$ при смачивании графита и различных неорганических веществ, отличающихся полярностью (SiO_2 и TiO_2) неполярными или малополярными жидкостями (бензол, октан). С этой точки зрения близость $Q_{см}$ для кальцита и кремнезема понятна.

В то же время, более низкое значение $Q_{см}$ активного угля ($0,05 \text{ Дж/м}^2$), чем графита ($0,144 \text{ Дж/м}^2$), легко объясняется, если принять во внимание размер пор активного угля: для марки АР-А объем микропор составляет около 80 % от предельного объема сорбционного пространства. Учитывая, что эффективный диаметр микропор в активном угле не превышает $0,7 \text{ нм}$, можно констатировать, что они не доступны для большей части молекул дисперсионной среды битума.

Кроме того, микропоры могут блокироваться асфальтенами битума. Положение усугубляется большими размерами мицелл, которые формируются в коллоидной структуре битума и связывают значительную часть смол и масел.

Результатом трудной доступности внутренней поверхности микропор активного угля является низкое значение теплоты его смачивания битумом (рис. 1 б, табл. 3). Это свидетельствует в пользу того, что смачивается битумом не более 50% сорбционной поверхности активного угля.

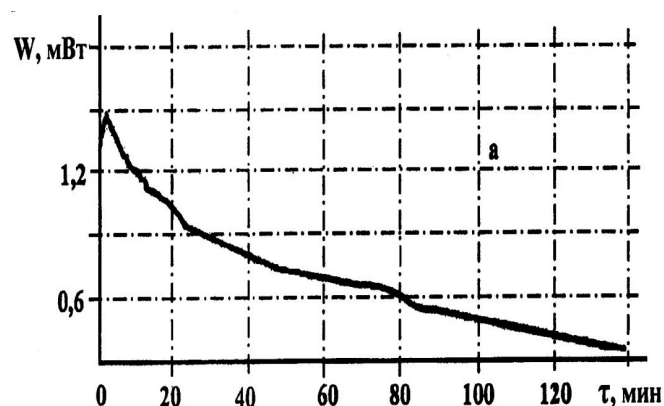
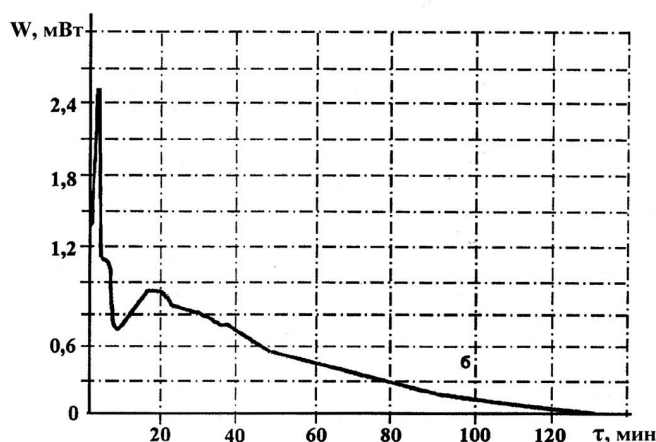


Рис. 2. Тепловыделение при 200°C для модифицированного битума (а) и при смачивании кремнезема модифицированным битумом (б): а — $m_g = 0,3637 \text{ г}$; $B = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ Дж/мм} \cdot \text{с}$; б — $m_g = 0,1104 \text{ г}$; $m_k = 0,1562 \text{ г}$; $B = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ Дж/мм} \cdot \text{с}$.

На рис. 2 б приведена термограмма процесса смачивания кремнезема модифицированным битумом. Высокое тепловыделение и сложный характер термограммы свидетельствуют о протекании (в дополнение к смачиванию) химического процесса. Чтобы разобраться в этих эффектах, исследовано поведение самого Элвалоя и модифицированного им битума при 200 °С. В первом случае тепловыделение не наблюдается. Для битумополимерного вяжущего тепловой эффект, рассчитанный по данным рисунка 2а, составляет 5,14 Дж/г модифицированного битума.

Теплота смачивания кремнезема модифицированным битумом, приведенная в таблице 3, определена по разности удельных тепловых эффектов по рис. 2 а, б.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать некоторые выводы, важные для технологии производства асфальтобетонных смесей:

- процессы на поверхности раздела фаз «минеральный порошок – битумное вяжущее» можно активировать механообработкой при получении минерального порошка;

- для интенсификации процесса смачивания порошка органическим вяжущим высокие температуры обязательны;

- для приготовления асфальтовяжущих могут использоваться высокопористые органические и минеральные порошки при условии, что они микропористы;

- при смачивании минеральных порошков битумами, модифицированными реакционноспособными модификаторами возможно протекание химических реакций как в объеме битума, так и на поверхности раздела фаз «МП-ОВ».

Список литературы

1. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны. – М.: Высшая шк., 1969. – 399 с.
2. Гезенцевей, Л. Б., Горелышев, Н. В., Богуславский, А. М., Королев, И. В. Дорожный асфальтобетон. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
3. Салль, А. О. Эффективное применение асфальтобетона в дорожных конструкциях. – Ленинград: Ленинградский

дом научно-технической пропаганды (ЛНДНТП), 1981. – 31 с.

4. Evstase, G. W. Properties and functions of cadet materials. Part 1 // Vunicipal Engineering – 1970/ – V. 171. – № 21. – P. 1065-1068.
5. Verschave, A., Marvillet, I., Duval, I. Enrobüs an liant bitumen SBS // Rev. gen routes et aürodr, 1981. – v. 55 – № 579. – P. 70-74.
6. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. – Харьков: Вища шк., 1977. – 115 с.
7. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение. – Учеб. пособие для строит. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 2018. – 701 с.
8. Гезенцевей, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. – М.: Стройиздат, 1971. – 256 с.
9. Сум, Б. Д., Горюнов, Ю. В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия, 1976. – 232 с.
10. Берлин, А. А., Басин, В. Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1969. – 319 с.
11. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве. / Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (S8) // Пер. с франц. В. А. Золотарева, инж. Беспаловой Л. А.; Под общ. ред. д.т.н. В. А. Золотарева, д.т.н. В. И. Братчуна. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 229 с.
12. Dickinson, E. I. Assessment of the deformation and flow properties of polymer modified paving bitumens // Austral Road Res, 1981. – V. №3. P. 11-18.
13. Братчун, В. И. Пактер, М. К., Беспалов, В. Л., Самойлова, Е. Э. Об особенностях формирования граничных слоев на поверхности раздела фаз «минеральный порошок (МП) – модифицированное органическое вяжущее» // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури, Макіївка. – 2003. – вип. 1 (38) – С. 3-8.
14. Столярова, Н. А. Литые смеси для текущего ремонта нежестких покрытий автомобильных дорог // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури «Композиційні матеріали для будівництва». – 2003. – 1(38). – С. 97-99.
15. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы. – М.: Химия, 1973. – 432 с.
16. Золотарев, В. А. Обобщенные температурно-пентрационные зависимости дорожных битумов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – №1 – С. 24-26.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СМЕСЕЙ

А. К. Кралин, к.т.н., доцент; М. Г. Бикашвили; А. С. Рябов

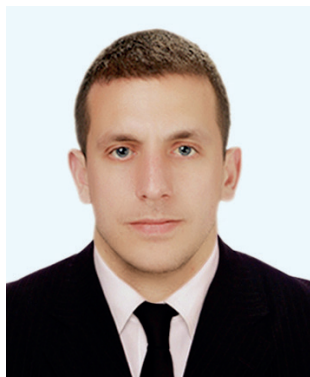
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. На основании нормативной документации, применяемой в области зимнего содержания автомобильных дорог, представлена классификация противогололедных материалов, рассмотрены их свойства по ряду показателей и предъявляемые к ним требования. Выполнен анализ физико-механических свойств гранулированного шлака, который используется в качестве фрикционного противогололедного материала. Рассмотрена схема закрепления зерен фрикционного материала на поверхности ледяной пленки для повышения абразивности поверхности проезжей части автомобильных дорог. Представлены зависимости расплавляемой способности солей от температуры льда, количества солей, добавляемых к гранулированному шлаку, от температуры льда и его толщины и даны рекомендации по выбору солей, выполняющие роль химического компонента комбинированных противогололедных смесей. Определены массовые характеристики шлако-соляной смеси и ее компонентов при некоторых температурах льда.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, содержание автомобильных дорог, окружающая среда, борьба со скользкостью, противогололедные материалы, поверхность проезжей части, гранулированный шлак, комбинированная противогололедная смесь, количество соли, температура льда, толщина льда.



*Кралин Андрей
Константинович*



*Бикашвили
Мераби Гочаевич*



*Рябов
Алексей Сергеевич*

Повышение уровня безопасности всех участников дорожного движения в фактических границах города и за его пределами является одной из приоритетных задач государства, а с увеличением интенсивности движения городского и междугородного транспорта приобретает все большее значение.

Наиболее сложно обеспечить безопасность движения транспорта и пешеходов по обледеневшим дорогам в зимний период. Поэтому борьба со скользкостью таких дорог является одним из основных факторов предотвращения дорожных происшествий, число которых в зимний период все еще значительно.

Содержание автомобильной дороги в зимнее время — это комплекс мероприятий по обеспечению бесперебойного движения транспортных средств на автомобильной дороге в зимнее время, включающий защиту автомобильной дороги от снежных отложений, заносов и лавин, очистку от снега, предупреждение образования и ликвидацию зимней скользкости и наледей [1].

Эффективность проводимых мероприятий в значительной степени зависит от правильной организации работ и использования всех достижений науки, техники и накопленного в этой области опыта. Обслуживание обледеневших дорог является, по сути дела, мероприятием аварийного характера, при котором не может быть никаких отступлений от заранее намеченных мероприятий, так как в противном случае выполняемые работы могут не дать результатов.

Одной из технологических операций, которые входят в комплекс мероприятий по обеспечению

бесперебойного движения транспортных средств на автомобильной дороге в зимнее время, является распределение противогололедных материалов (ПГМ).

Противогололедные материалы – твердые (сыпучие) или жидкие дорожно-эксплуатационные мате-

риалы (фрикционные, химические) или их смеси, применяемые для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и улицах [2].

Классификация противогололедных материалов представлена на рис. 1.

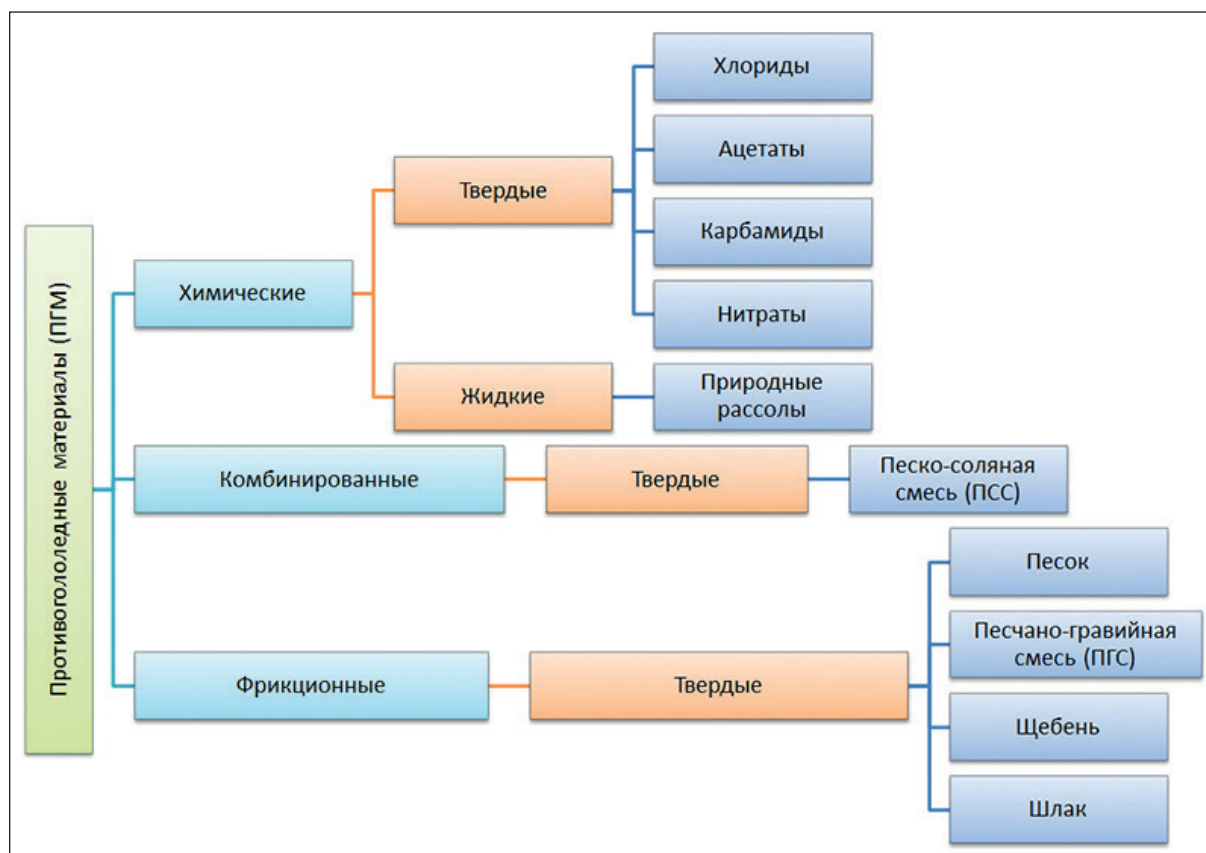


Рис. 1. Классификация противогололедных материалов

В зависимости от используемого сырья и его происхождения противогололедные материалы делят на три группы: химические, фрикционные и комбинированные, которые выпускают в твердом или жидком виде.

Фрикционные ПГМ по своему происхождению бывают искусственные (щебень, шлак) и естественные (песок, ПГС). Они должны обеспечивать снижение зимней скользкости за счет повышения шероховатости снежно-ледяных отложений на дорожных покрытиях [2].

К комбинированным относят материалы, обладающие химическими и фрикционными свойствами, в которых количество соли (чаще всего NaCl) по отношению к фрикционному материалу составляет не менее 5 %. При содержании соли менее 5 % ПГМ относят к фрикционной группе, так как в этом случае он применяется с целью повышения шероховатости снежно-ледяного слоя покрытия.

Химические ПГМ (реагенты) выпускают в твердом, жидком и смоченном виде. Сырьем для получения этих материалов чаще всего являются природные источники (бишофит, галит и др.) или отходы промышленности (сильвинитовые, карнолитовые и др.). С целью снижения расхода твердых химических ПГМ их смачивают растворами солей с пониженной

точкой замерзания. Эти ПГМ называют «смоченные соли». По химическому составу ПГМ этой группы разделяют на четыре подгруппы: первая подгруппа – хлориды (хлористый натрий, хлористый кальций, хлористый магний и ПГМ на их основе); вторая подгруппа – ацетаты (ацетат аммония, ацетат калия, ацетат кальция и ПГМ на их основе); третья подгруппа – карбамиды (мочевина, карбамидно-аммиачная селитра и ПГМ на их основе); четвертая подгруппа – нитраты (нитрат кальция, нитрат магния и ПГМ на их основе).

Учитывая сложившуюся экологическую обстановку, требования к ПГМ повышаются. Состав ПГМ должен быть таким, чтобы минимально воздействовать на окружающую среду и при этом повысить уровень безопасности всех участников дорожного движения.

Согласно [3], при изготовлении и применении ПГМ необходимо соблюдать требования безопасности, установленные на национальном уровне и отмеченные в разделе «Требования безопасности и охраны окружающей среды» и паспортом безопасности [4] для соответствующих видов ПГМ.

Свойства химических противогололедных материалов оценивают по ряду показателей, объединенных в четыре группы: органолептические, физико-химические, технологические и экологические [2].

Экологическая группа показателей включает в себя: удельную эффективную активность естественных радионуклидов; коррозионную активность на металл; агрессивное воздействие на цементобетон.

При применении комбинированного ПГМ дополнительно определяют количество химической добавки в ПГМ. Свойство химической добавки оценивают до смешивания с фрикционными материалами.

В нормативном документе [5] в разделе «Механизмы возникновения и проявления агрессивных факторов противогололедных материалов при зимнем содержании автомобильных дорог» приведен подробный перечень химических ПГМ и степень их отрицательного воздействия на окружающую среду.

Основным критерием экологической безопасности для химических и комбинированных ПГМ является недопущение превышения предельно допустимых концентраций агрессивных к окружающей среде компонентов.

При использовании химических и комбинированных ПГМ выделяют этапы транспортировки, хранения, приготовления, доставки, распределения, удаления с дорожного покрытия. Практически на всех из них проявляются агрессивные факторы различной природы, которые оказывают воздействие на экологическую безопасность окружающей среды. Так, например, в процессе приготовления химических и комбинированных ПГМ, производимых на открытых площадках, компоненты активно взаимодействуют с влагой атмосферы, образуя загрязнение окружающей среды. Возможно просыпание ПГМ, приводящее к попаданию в почву солей и образованию поверхностных стоков, загрязненных солями. При смывании с поверхности площадок после приготовления рабочих смесей и рассолов также образуются загрязненные по-

верхностные стоки, ведущие к засолению подпочвенных вод и водоемов [5].

При распределении ПГМ по дорожному полотну, он неизбежно попадает в почву и воду, создавая засоление. Образующиеся в ходе взаимодействия ПГМ с влагой атмосферы и с атмосферными примесями вредные вещества и соединения оказывают отрицательное воздействие на растения, накапливая в почве соли.

Отклонения от нормативных требований экологической безопасности приводят к превышению допустимой концентрации солей на дорожном покрытии вследствие неправильного учета метеоданных, а также из-за ошибок при приготовлении или изменение свойств ПГМ из-за неправильного их хранения. Также возможно недостаточное содержание компонентов, приводящее к увеличенному повторному применению ПГМ.

Свойства фрикционных ПГМ оценивают по следующим показателям: тип; внешний вид; цвет; зерновой состав; количество пылеватых и глинистых частиц; плотность.

Согласно нормативным документам [2, 3, 4], фрикционные ПГМ не рассматривают по экологической группе показателей. Однако, применение фрикционных материалов для повышения значения коэффициента сцепления колес транспортного средства с превышением допустимых количественных нормы плотности распределения или несвоевременная уборка остатков ПГМ может приводить к засорению ими придорожной полосы, водоочистных и водоотводящих сооружений, что в свою очередь может отрицательно сказаться на уровне безопасности дорожного движения и воздействии на окружающую среду [8].

Требования к фрикционным ПГМ представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Требования к фрикционным противогололедным материалам (фрагмент табл. [2])

Наименование показателей	Нормы		
	Песок	Щебень	Шлак
Зерновой состав, %, массовая доля частиц размером:			
св. 10 мм	Не допускается	Не допускается	Не допускается
св. 5 мм до 10 мм, не более	5	5	5
св. 1 мм до 5 мм, не более	75	80	80
1 мм и менее, не более	20	15	15
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, не более:			
для дорог и улиц в населенных пунктах	740	740	740
для внегородских дорог	1500	1500	1500

Распространенным для нашего региона фрикционным ПГМ считается гранулированный шлак (ГШ). В гранулированном шлаке доля частиц размером менее 8 мм составляет 96 %, а доля частиц размером менее 2 мм составляет 60 %. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов – не более 370 Беккерель/кг [6].

Не только зерновой состав ГШ и удельная эффективная активность естественных радионуклидов делает его предпочтительным фрикционным ПГМ, но и ряд других физико-механических свойств, например, высокая водонепроницаемость, морозостойкость, повышенная стойкость к образованию трещин, повышенная

коррозионная стойкость, повышенная долговечность в условиях действия агрессивных сред. При сравнении формы зерен, например, песка и гранулированного шлака подобных фракций, угловатая форма зерна ГШ может повысить сцепление колес транспортного средства (ТС) с обледеневшей поверхностью проезжей части.

Как правило, зерна фрикционного ПГМ, используемые для обработки обледеневших дорог, плохо удерживаются на них и уносятся колесами ТС или потоком ветра за пределы проезжей части дороги, если не соблюдены условия для их закрепления на ледяной поверхности. Частицы такого материала должны быть вкраплены в лед (см. рис. 2).

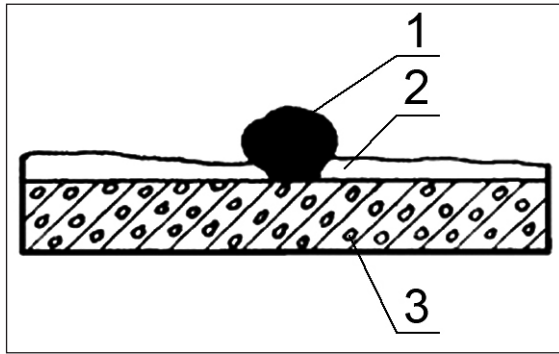


Рис. 2. Схема закрепления зерна фрикционного ПГМ со льдом: 1 – зерно фрикционного ПГМ; 2 – лед; 3 – покрытие проезжей части

В этом случае дорога будет иметь характер абразивной поверхности, с которой сцепление колес ТС будет значительно большим. Частицы фрикционного ПГМ, вкрапленные в лед, должны удерживаться в нем довольно прочно, отчего эффект обработки поверхности проезжей части будет более продолжительным.

Для повышения эффективности обработки поверхности проезжей части и удержания частиц фрикционного ПГМ в ледяной пленке добавляют химические ПГМ.

Для полного или частичного расплавления льда на поверхности обледеневших дорог и для закрепления рассыпанных на них зерен фрикционного ПГМ используют хлористый кальций CaCl_2 , хлористый магний MgCl_2 и хлористый натрий NaCl (поваренную соль). Хлориды растворяются в воде и их водные растворы замерзают при температурах значительно ниже нуля. При каждой температуре определенное количе-

ство воды может растворить только известное количество соли.

Для уничтожения образовавшейся на проезжей части ледяной пленки необходимо применять следующее количество солей, $\text{кг}/\text{м}^2$ [9]:

$$X_{n,l} = \frac{h \times \gamma_{\text{л}}}{100 \times y_l}, \quad (1)$$

где y_l – количество льда, расплавляемого 1 кг соли при данной температуре, кг; h – толщина льда, см.

Принимаем толщину льда $h=0,1 \dots 1$ см;

$\gamma_{\text{л}}$ – объемный вес льда, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для дорожного льда $\gamma_{\text{л}} = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$ [7].

Количество льда (кг), расплавляемого одним килограммом соли при данной температуре, определяем по следующим зависимостям [9]:

– для поваренной соли (NaCl):

$$y_{l1} = \frac{60}{t}, \quad (2)$$

где t – температура льда, град. Для определения зависимости количества расплавляемого льда 1-м кг соли принимаем значение температуры льда $t = -2 \dots -20$ °C;

– для 90 %-ного хлористого кальция (CaCl_2):

$$y_{l2} = \left(\frac{40}{t} \right) + 2, \quad (3)$$

– для 75 %-ного хлористого кальция (CaCl_2):

$$y_{l3} = \left(\frac{30}{t} \right) + 2, \quad (4)$$

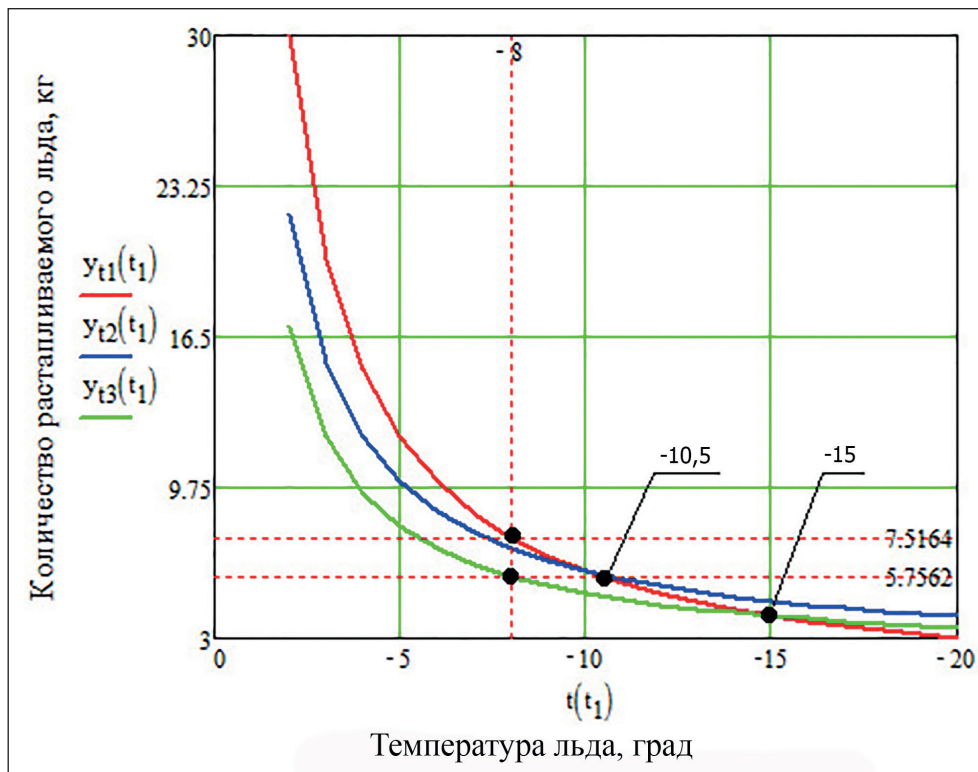


Рис. 3. Способность NaCl и CaCl_2 расплавлять лед при различной его температуре

При выборе соли для борьбы со льдом необходимо учитывать, что при температуре льда до $-10,5^{\circ}\text{C}$ выгоднее применять NaCl (см. рис. 3), так как его расплавляющая способность при этих условиях выше, чем у 75 %-ного CaCl_2 . При температуре ниже $-10,5^{\circ}\text{C}$ CaCl_2 имеет большую расплавляющую способность, чем NaCl.

При температуре, например, -8°C , количество льда (кг), расплавляемого 1-м кг соли:

- поваренной соли (NaCl), $y_{i1} = 7,5164$;
- 90 %-ного хлористого кальция (CaCl_2) $y_{i2} = 7,0033$;
- 75 %-ного хлористого кальция (CaCl_2) $y_{i3} = 5,7562$.

На рис. 4 представлены зависимости расхода солей на плавление льда при его температуре -8°C от толщины льда.

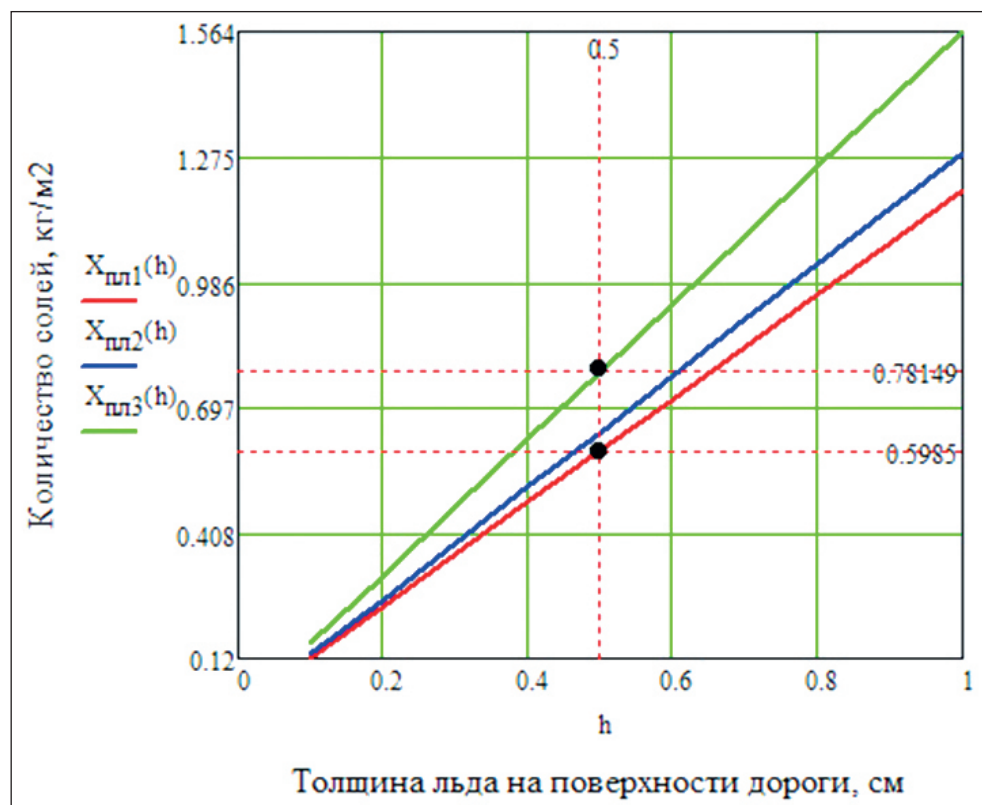


Рис. 4. Зависимость расхода солей на плавление льда при его температуре -8°C

Для полного удаления ледяной корки с поверхности проезжей части, толщиной 0,5 см, на 1 м^2 необходимо распределить поваренной соли (NaCl) приблизительно 0,6 кг, а 75 %-ного хлористого кальция (CaCl_2) приблизительно 0,8 кг.

Для закрепления зерен фрикционного ПГМ в ледяной пленке необходимо добавлением соли расплавить такое количество льда, которое в среднем равнялось бы половине объема зерен материала, нанесенного на поверхность дорожного покрытия. На расход солей, применяемых для этой цели, влияют температура льда, способность применяемой соли y_i расплавлять лед, насыпной вес применяемых материалов $\gamma_{\text{л}}$ и их удельный вес $\gamma_{\text{м}}$, а также тщательность перемешивания соли с фрикционными ПГМ [9].

Если 1 м^3 рассыпаемого материала весит $\gamma_{\text{л}}$ кг, а удельный вес материала равен $\gamma_{\text{м}}$ кг/м³, то объем частиц 1 м^3 рассыпаемого материала будет численно равен $\frac{\gamma_{\text{л}}}{\gamma_{\text{м}}}\text{ м}^3$.

$\gamma_{\text{м}}$

Для закрепления зерен фрикционного ПГМ необходимо до половины их объема вплавить в лед. Если обозначить через $\gamma_{\text{л}}$ объемный вес льда в т/м³, а через

k_p коэффициент, учитывающий равномерность распределения соли в фрикционных ПГМ, то количество соли, которое нужно добавить, можно определить по формуле:

$$X = k_p \frac{1000 \gamma_{\text{л}} \gamma_{\text{л}}}{2 \gamma_{\text{м}} y_i}, \quad (5)$$

В этих расчетах величину k_p можно принимать равной 1,05...1,15 при механическом перемешивании соли с фрикционными ПГМ.

Зададимся следующими исходными данными: $k_p = 1,05$; $\gamma_{\text{л}} = 2900\text{ кг}$ – вес 1 м^3 гранулированного шлака; $\gamma_{\text{м}} = 2900\text{ кг/м}^3$ – плотность гранулированного шлака.

Зависимость количества солей, которые нужно добавить к гранулированному шлаку для его закрепления в ледяной пленке, от температуры льда показана на рис. 5.

На графике есть характерные точки пересечений зависимостей на отметке $-10,5^{\circ}\text{C}$ и -15°C . В этих точках принимается равное количество соответствующих солей, зависимости которых пересекаются. Например, при температуре льда $-10,5^{\circ}\text{C}$ для закрепления частиц гранулированного шлака в объеме 1 м^3 необходимо добавить 78,75 кг NaCl или 90 %-ного CaCl_2 ,

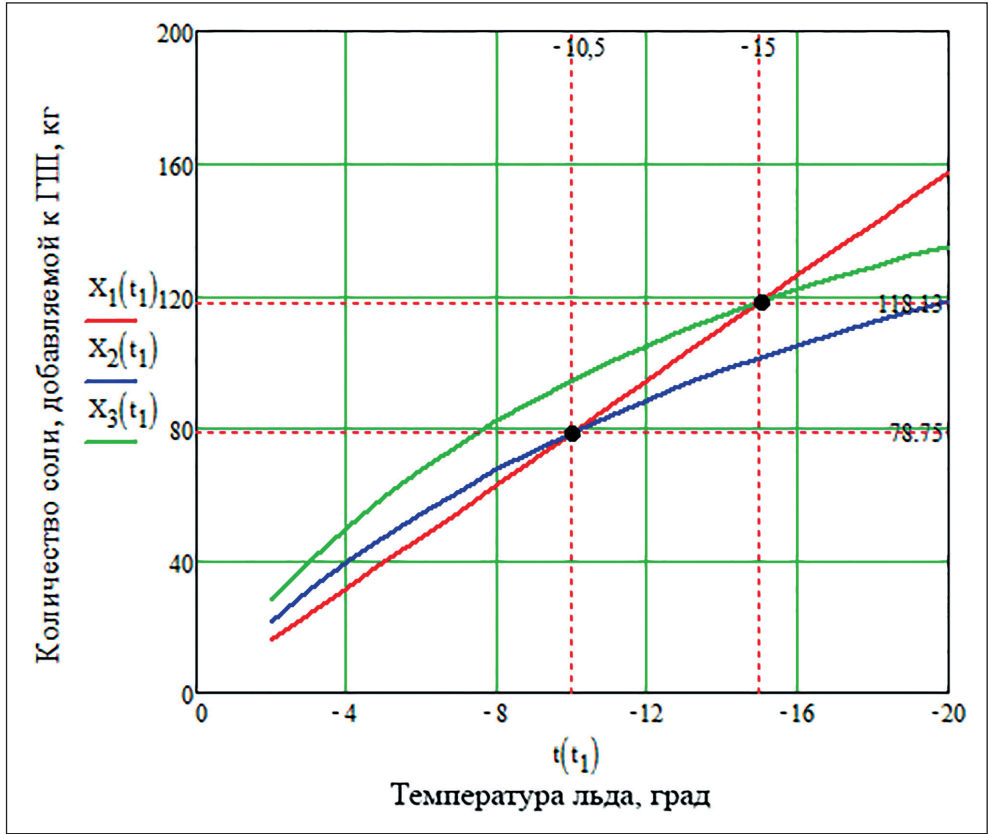


Рис. 5. Зависимость количества солей, которые нужно добавить к гранулированному шлаку для его закрепления в ледяной пленке от температуры льда

а при использовании 75 %-ного CaCl_2 – 94,5 кг. При температуре льда -15°C для закрепления частиц гранулированного шлака в объеме 1 м^3 необходимо добавить 118,13 кг NaCl или 75 %-ного CaCl_2 , а при использовании 90 %-ного CaCl_2 – 101,25 кг.

Необходимо отметить, что NaCl действует медленнее, чем CaCl_2 . Поэтому NaCl лучше применять

при посыпке ночью или при небольшой интенсивности движения транспорта. При посыпке в дневные часы, когда интенсивность движения велика, следует предпочесть CaCl_2 [9].

Значения массовых характеристик шлако-соляной смеси при температурах льда $-10,5^\circ\text{C}$ и -15°C представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2.

Масса компонентов и ШСС при температуре льда $-10,5^\circ\text{C}$

Объем ГШ, м^3	Масса ГШ, кг	Температура $-10,5^\circ\text{C}$					
		Соли, кг			Шлако-солевая смесь, кг		
		NaCl	90%-ный CaCl_2	75%-ный CaCl_2	$\text{NaCl}+\text{ГШ}$	90%-ный $\text{CaCl}_2+\text{ГШ}$	75%-ный $\text{CaCl}_2+\text{ГШ}$
1	2900	78,75	78,75	94,5	2978,75	2978,75	2994,5
2	5800	157,5	157,5	189	5957,5	5957,5	5989
3	8700	236,25	236,25	283,5	8936,25	8936,25	8983,5
4	11600	315	315	378	11915	11915	11978
5	14500	393,75	393,75	472,5	14893,8	14893,75	14972,5
6	17400	472,5	472,5	567	17872,5	17872,5	17967
7	20300	551,25	551,25	661,5	20851,3	20851,25	20961,5
8	23200	630	630	756	23830	23830	23956

Таблица 3.

Масса компонентов и ШСС при температуре льда -15 °С

Объем ГШ, м³	Масса ГШ, кг	Температура -15 °С					
		Соли, кг			Шлако-солевая смесь, кг		
		NaCl	90%-ный CaCl ₂	75%-ный CaCl ₂	NaCl+ГШ	90%-ный CaCl ₂ +ГШ	75%-ный CaCl ₂ +ГШ
1	2900	78,75	78,75	94,5	2978,75	2978,75	2994,5
2	5800	157,5	157,5	189	5957,5	5957,5	5989
3	8700	236,25	236,25	283,5	8936,25	8936,25	8983,5
4	11600	315	315	378	11915	11915	11978
5	14500	393,75	393,75	472,5	14893,8	14893,75	14972,5
6	17400	472,5	472,5	567	17872,5	17872,5	17967
7	20300	551,25	551,25	661,5	20851,3	20851,25	20961,5
8	23200	630	630	756	23830	23830	23956

Это табличные формы, в которых указаны масса (кг) гранулированного шлака объемом от 1 м³ до 8 м³, масса (кг) соответствующей соли и масса (кг) шлако-солевой смеси для температуры льда -10,5 °С и -15 °С. По результатам расчета возможно составление таких таблиц для любого значения температуры льда в заданном диапазоне и для любого количества гранулированного шлака и необходимой солевой добавкой. Это позволяет оперативно реагировать на изменяющиеся погодные условия при производстве противогололедных смесей в чрезвычайных ситуациях.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. По результатам анализа нормативной документации, применяемой в области зимнего содержания автомобильных дорог, по экологической группе показателей рассматривают химические ПГМ и химические компоненты комбинированных противогололедных материалов. Однако применение фрикционных материалов для борьбы со скользкостью должно соответствовать нормам распределения с последующей их уборкой с поверхности проезжей части.

2. Применение гранулированного шлака в качестве фрикционного ПГМ не противоречит требованиям нормативных документов. Для увеличения абразивности поверхности обледеневшей проезжей части рекомендуется вкрапление ГШ за счет применения химических компонентов ПГМ.

3. При выборе соли для борьбы со скользкостью необходимо учитывать, что при температуре льда до -10,5 °С выгоднее применять NaCl, так как его расплавляющая способность при этих условиях выше, чем у 75 %-ного CaCl₂.

4. По результатам расчета возможно составление таких таблиц для любого значения температуры льда в заданном диапазоне и для любого количества гранулированного шлака и необходимой солевой добавкой. Это позволяет оперативно реагировать на изменяющиеся погодные условия при производстве противогололедных смесей в чрезвычайных ситуациях.

Список литературы

1. ОДМ 218.3.034-2013. Рекомендации по технологии очистки, уборке и мойке проезжей части автомобильных дорог и искусственных сооружений в их составе, элементов обстановки и оформления: Отраслевой дорожный методический документ: издание официальное: внесен Управлением эксплуатации автомобильных дорог Федерального дорожного агентства, издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства № 1177-р от 15 августа 2013 г.: введен впервые: дата введения 2013-10-01 / разработан закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры» (ЗАО «НИПИ ТРТИ»). Коллектив авторов: канд. техн. наук В. П. Радов, канд. техн. наук В. И. Видулин, инж. А. С. Бадалов, инж. О. В. Богданов. — Москва: Информавтодор. 2017. — 66 с.: — Текст: непосредственный.
2. ОДН 218.2.027-2003. Требования к противогололедным материалам: Отраслевые дорожные нормы: издание официальное: утверждено распоряжением Минтранса России № ОС-548-р от 16 июня 2003 г.: введены впервые: дата введения 2003-06-16/разработаны Государственным предприятием «Росдорнии» (д-р техн. наук Кретов В. А., инж. Розов Ю. Н., канд. техн. наук Полосина-Никитина Н. С., канд. хим. наук Орлов Ю. Н., инж. Розов С. Ю., канд. техн. наук Лебедихин А. В., канд. хим. наук Мазепова В. И.). — Москва: Информавтодор. 2003. — 21 с.: — Текст: непосредственный.
3. ГОСТ 33387-2015. Противогололедные материалы. Технические требования. Автомобильные дороги общего пользования: межгосударственные стандарт: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол от 27 октября 2015 г. № 81-П), введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 8 сентября 2016 г. Приказом № 1003-ст Федерального агентства по техническому регулирова-

- нию и метрологии от 31 августа 2016 г.: введен впервые: дата введения 2016-09-16 / разработан Акционерным обществом «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (Технический комитет по стандартизации ТК 42 «Автомобильные дороги») с участием ФГБУ «РОСДОРНИИ», МАДИ-ГТУ, ФГУП «ИРЕА», НКО «Ассоциация зимнего содержания дорог». — Москва: Стандартинформ. 2019. — 7 с.: — Текст: непосредственный.
4. ГОСТ 30333-2007. Паспорт безопасности химической продукции. Общие требования: межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 августа 2008 г. № 164-ст 1 января 2009 г. введен впервые: дата введения 2009-01-01 / разработан Техническим комитетом по стандартизации ТК 339 «Химическая безопасность веществ и материалов». — Москва: Стандартинформ. 2008. — 7 с.: — Текст: непосредственный.
 5. Рекомендации по обеспечению экологической безопасности в придорожной полосе при зимнем содержании автомобильных дорог: издание официальное: приняты и введены в действие распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации № ИС-1007-р от 17 ноября 2003 г. № ИС-1007-р: введены впервые: дата введения 2003-11-17 / разработаны Федеральным государственным унитарным предприятием Саратовский научно-производственный центр «Росдортех» коллективом авторов в составе канд. техн. наук, проф. Жилина С. Н., д-ра техн. наук, проф. Кочеткова А. В., науч. сотр. Абуталигова Р. Н. инж. Алексеевой Т. В. и др.. — Москва: Информавтодор. 2003. — 28 с.: — Текст: непосредственный.
 6. ГОСТ 3476-2019. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов: межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 октября 2019 г. № 854-ст: введен в замен ГОСТ 3476-74: дата введения 2020-06-01 / разработан некоммерческой организацией «Союз производителей цемента» (НО «СОЮЗЦЕМЕНТ») и Обществом с ограниченной ответственностью Фирмой «ЦЕМИСКОН» (ООО Фирма «ЦЕМИСКОН»). — Москва: Стандартинформ. 2019. — 4 с.: — Текст: непосредственный.
 7. Гусев, Л. М. Борьба со скользкостью городских дорог / Л. М. Гусев. — Москва: Стройиздат. 1964. — 103 с.: — Библиогр.: с. 101-102. — Текст: непосредственный.
 8. Рябов, А. С. Экологически безопасные противогололедные материалы и технологии их распределения по поверхности дорог: направление подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»: магистерская диссертация / Рябов Алексей Сергеевич; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. — Макеевка. 2021. — 84 с. — Библиогр.: с. 79-84. — Текст: непосредственный.
 9. Бикашвили, М. Г. Применение гранулированного шлака для приготовления противогололедных фрикционных и комбинированных смесей: направление подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»: магистерская диссертация / Бикашвили Мераби Гочаевич; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. — Макеевка. 2021. — 78 с. — Библиогр.: с. 71-78. — Текст: непосредственный.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF WATER SUPPLY SOURCES

N. G. Nasonkina, Doctor of Engineering; E. A. Feskova, Assistant; L. N. Bogak, Assistant; V. S. Zaburdaev, Assistant; O. E. Zhukov, Student

STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION «DONBAS NATIONAL ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE»



*Насонкина Надежда
Геннадьевна*



*Феськова Елена
Александровна*



*Богак
Людмила Николаевна*



*Забурдаев
Вячеслав Семенович*



*Жуков
Олег Эдуардович*

Annotation. The article analyzes factors affecting reliability of operations of drinking water supply sources, and proposes a model for managing risk factors. The results of field studies are presented. The main functional purpose of environmental standards, as characteristics of the natural state of surface waters in the absence of anthropogenic load, is to assess the ecological well-being of water bodies to determine a set of water protection measures to achieve and maintain the specified water quality standards. Recommendations and guidelines for the ordering and organization of the territories of the three zones of the sanitary protection zone are proposed, as well as the rules for development and land use within the boundaries of the sanitary protection zone, taking into account its functional and intended use. Based on the results of field studies, three zones of sanitary protection zones were developed for capturing, considering the existing urban planning situation.

Key words: water supply, water intake, sanitary protection zones, risk, watercourse.

FORMULATION OF THE PROBLEM

The distinct characteristics of drinking water supply in Donbass is that it is 97% based on surface sources and depends on their environmental safety. The increased risk and reduced safety for water supply systems is explained, first, by a decrease in water supplies; and second, by the deterioration of the quality of natural waters. 35% of the surface sources in the region today are not suitable for all types of water use.

The reasons for the emergence of risk might be due to technogenic and anthropogenic events. The main events include: floods, natural disasters, man-made disasters, terrorist attacks and the accumulation of toxins. Pollutants entering water bodies are very diverse and are difficult to neutralize [14-17]. For example, the half-life of some toxins is 80-100 years [1].

The current situation requires an integrated approach to assessing the safety of water supply sources and managing risks in watercourse systems.

RESEARCH ANALYSIS

In the process of monitoring the quality of natural waters, a large number of hydro-chemical and physio-chemical indicators are determined to characterize their pollution. However, there is a need for an integrated assessment of the

contamination of drinking water supply sources by all parameters. The generally accepted approach to determining the quality of water by comparing the concentration of pollutants in water with the MPC values [2] does not give a clear idea of a degree of water bodies pollution, primarily due to the lack of interrelation of individual indicators. The MPC system at this time is subject to well-reasoned criticism, therefore, there has been a tendency to assess the state of water bodies not from the point of view of a specific nature management needs, but from the standpoint of preserving the structure and functional features of the hydro-ecosystem. This led to the development of a new environmental standard in the Water Code – an environmental standard for the quality of natural waters.

The main importance in ensuring the sanitary protection of water supply systems is tied to the sanitary protection zones (hereinafter ZZO). The sanitary protection zone (hereinafter SPZ) is an obligatory element of the subjects of economic activity. It should be noted that most approaches do not provide risk assessment and changes in the integrity of the SZO during the operation of structures and changes in the development of settlements.

In order to ensure the sanitary and epidemiological safety of the operation of water supply systems and their adaptation to modern urban planning standards and conditions of dense development it is necessary to further develop research on recalculating the WSS, considering the conditions of reliability and risk.

The purpose of the article is to analyze the current state of water supply sources and wastewater treatment plants, identify the main problems arising during the operation of zones in dense building areas and develop ways to preserve the sanitary and epidemiological safety of water supply facilities.

THE MAIN RESEARCH MATERIAL

Innovative studies of the state of water bodies show that virtually all water bodies, both surface and underground, are exposed to anthropogenic and technogenic factors.

Forecast of the water quality should be made in accordance to all standardized indicators and take into account the following: dilution of wastewater with watercourse water, destruction of non-conservative substances, formation of new intermediate products, self-purification, interaction of substances, neutralizing ability of a reservoir, salt hydrolysis, formation of poorly soluble compounds, sorption and desorption processes, temperature water quality and water quality management directly in the reservoir. In the process of monitoring the quality of natural waters, a large number of hydro-chemical and physio-chemical indicators characterizing their pollution are determined. However, there is a need for an integrated assessment of water bodies pollution for all measured parameters. The generally accepted approach to determining water quality is by comparing the concentrations of pollutants in water with the MPC values [6] does not give a clear idea of the total pollution of water bodies, primarily due to the lack of comparability of individual indicators. Today it is planned to establish MPD standards under which there will be no deterioration of water quality in the control section.

A number of scientists (AV Yatsyk, Susuma Kawamura, Henriet C. and others) put on the agenda the issue of strict

monitoring the ecological state of fresh water bodies [7-11, 12]. The solution to this issue is aggravated by the fact that if the quantitative and qualitative nature of stationary changes in water quality in water bodies is generally studied and predictable, then in case of accidental emissions of pollution, the situation on watercourses can change very rapidly and unpredictably. Environmental safety can be improved by developing a model for predicting water quality, introducing environmental standards and risk reduction measures.

The main functional purpose of environmental standards, as characteristics of the natural state of surface waters in the absence of anthropogenic load, is to assess the ecological well-being of water bodies to determine a set of water protection measures to achieve and maintain the specified water quality standards.

To successfully solve problems related to forecasting, planning, operational management and quality control of the aquatic environment, a comprehensive description of hydro-dynamic, hydro-chemical and hydro-biological processes in water bodies is required. This description is provided using the methods of systems analysis and mathematical modeling.

The complex of programs «Sources of drinking water supply» proposed by the authors is intended for making decisions on reducing the risk in the system (Fig. 1).

Its individual blocks can be effectively used to solve a number of specific problems in design and water management practice. In the complex, the entire system allows you to determine a set of basic measures to improve the environmental safety of the source of drinking water supply.

Blocks are grouped by purpose:

- assessment of the condition of the source and selection of facilities for preliminary treatment of natural water;
- selection of the main structures of the waterworks, based on ensuring the required water quality.

The program is implemented for the MS DOS operating system (Figure 2).

Displaying the simulation results allows you to analyze and plan to reduce the risk in the watercourse and at the water intake.

Let's briefly consider some calculations of characteristics and processes.

Assessment of water quality at the source. The initial prerequisite for solving the whole complex of tasks to determine the environmental safety of the water supply system is to determine the limiting indicators of harmfulness by:

– group «general requirements» (1):

$$L_I = 0,2C_{O_2} + 0,17C_{БПК} + 0,03C_{с/с} + 0,14C_{pH} + 0,02C_{минер}, (1)$$

where C_{O_2} is the concentration of dissolved oxygen in water, mgO_2 / dm^3 ;

$C_{БПК}$ – biochemical oxygen consumption, mgO_2 / dm^3 ;

$C_{с/с}$ – concentration of suspended solids, mg / dm^3 ;

C_{pH} – pH value;

$S_{минер}$ – total salt content, mg / dm^3 ;

– group «sanitary and toxicological requirements» (2):

$$L_{II} = 0,01C_{SO_4} + 0,01C_{Cl} + 0,25C_{NO_3} + 0,01C_{Cr}, (2)$$

where C_{SO_4} is the concentration of sulfates, mg / dm^3 ;

C_{Cl} – chloride concentration, mg / dm^3 ;

C_{NO_2} – concentration of nitrates, mg / dm^3 ;

C_{Cr} – chromium concentration, mg / dm^3 ;

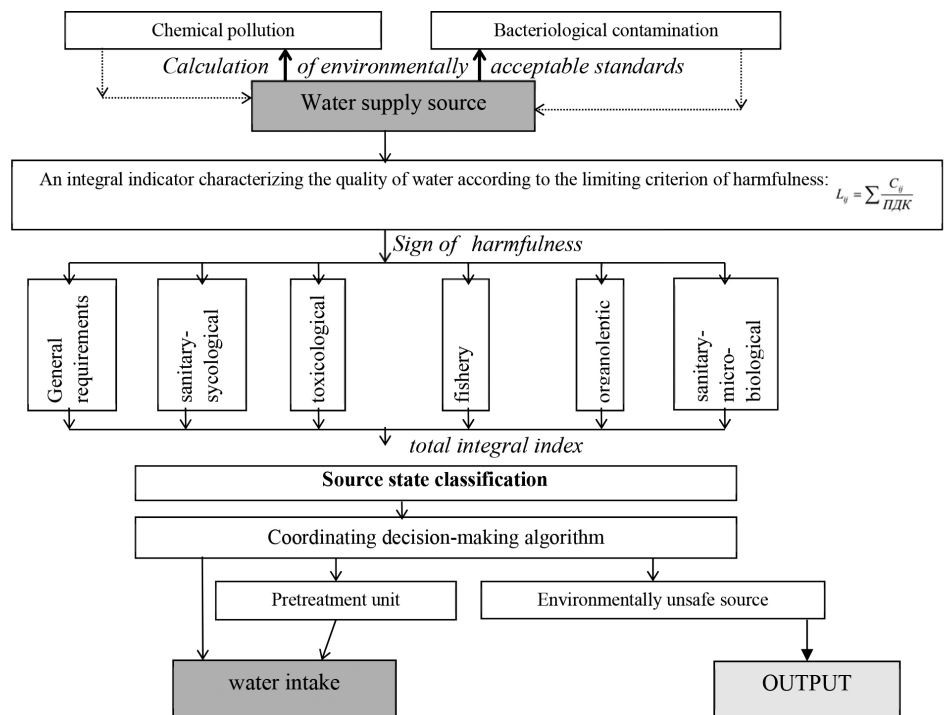


Figure 1. Diagram of the selection of the water intake system

Figure 2. Outline of a water source risk assessment program

– group «toxicological requirements» (3):

$$L_{III} = 3,3C_{NH} + 100C_{NO_2} + 0,02C_{\phi/\phi} + 0,01C_{Cu} + 0,67C_{Zn} + 0,01C_{Ni}, \quad (3)$$

where CNH is the concentration of ammonium nitrogen, mg / dm³;
C_{NO₃} – concentration of nitrites, mg / dm³;
C_{Cu} – copper concentration, mg / dm³;

C_{Zn} – zinc concentration, mg / dm³;
C_{Ni} – nickel concentration, mg / dm³;
– group «fishery requirements» (4):

$$L_{IV} = 33,3C_{\phi} + 12,5C_{\phi}, \quad (4)$$

where
C_φ is the concentration of phenols, mg / dm³;
C_н – concentration of oil products, mg / dm³;

– group «organoleptic requirements» (5):

$$Lv = C_{Fe}, \quad (5)$$

where C_{Fe} is the concentration of iron, mg / dm³;

– group «sanitary and microbiological requirements» (6):

$$L_I = \frac{C_{Ки}}{10000}, \quad (6)$$

$C_{Ки}$ – the number of bacteria of the group of Escherichia coli, cells / dm³ and the total integral indicator (7):

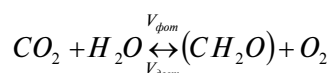
$$L = L_I + L_{II} + L_{III} + L_{IV} + L_V + L_{VI}, \quad (7)$$

Based on the check, the following actions are selected:

– if $L > 1$, then the output (the system is not suitable for water supply),

– if $L \leq 1$, then the calculation is carried out further.

In water bodies, the ratio of production-destruction processes can be expressed by the quantitative dependence of pH and concentration of dissolved O₂, which follows from the scheme of the photosynthesis equation:



where $V_{\phi om}$, V_{decm} are the rates of photosynthesis and destruction, respectively.

With an increase in the content of CO₂, the concentration of hydrogen ions increases, and the pH decreases, and vice versa. Consequently, in reservoirs, the ratio of the rates of production and destruction can be expressed by the dependence (8):

$$\frac{V_{\phi om}}{V_{decm}} = f(pH, [O_2]), \quad (8)$$

The authors [5] developed an integral indicator characterizing the balance of production and destruction processes in water bodies (9):

$$pH_{100\%} = \frac{\sum_{i=1}^n pH_i}{n} - \alpha \left(100 - \frac{\sum_{i=1}^n [O_2]_i}{n} \right), \quad (9)$$

where pH_i is the pH value over time t;

$[O_2]$ – concentration of O₂ (%), which is measured synchronously with pH during the same t, g/dm³;

α – empirical coefficient of pH dependence on $[O_2]$;

n is the number of measurements during time t.

Using this algorithm, we estimate the main and intermediate states of the operation of the capturing settlement well. Geo-structurally, the underground water intake site is located in the central part of the Donetsk basin, northwest of the confluence of the Rossokhovataya and Korsun rivers (Figure 3).

The purpose of the capturing well is domestic water supply. Water is used for technical water supply and irrigation due to the non-compliance of its quality with the requirements of SanPiN 2.1.4.1074-01 «Drinking water. Hygienic requirements for water quality in centralized drinking water supply systems».

Based on the results of field studies, three zones of sanitary protection zones were developed for capturing,



Figure 3. Situational plan M 1: 100,000

considering the existing urban planning situation (Figure 4), where the boundaries of the third zone of the ZSO are indicated in green, and the boundaries of the second zone are indicated in orange.

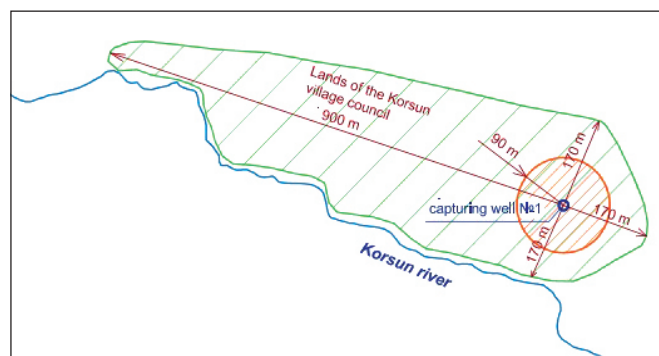


Figure 4. Scheme 2 and 3 of the ZSO belts

The boundary of the first zone of the WSS for an insufficiently protected source of groundwater should be removed from the well by 50 m. The length of the boundary is 345.4 m. The site with underground water intake facilities is in cramped conditions. Residential estate the building is located within the first zone of the WSS of the underground water intake. There is no centralized drainage of residential buildings.

Thus, in the course of the study, it was established that the sanitary protection zone of the underground water intake is not organized. In this regard, based on the current situation, it is necessary to carry out a set of measures to maximize the protection of groundwater from pollution.

The selection of data for the study of the state of the source was carried out at control points. The analyzed data were organoleptic, hydro-chemical, bacteriological and hydro-biological indicators, as well as the total salinity of water, the content of chlorides and sulfates. In terms of chemical composition, the groundwater of the Upper Carboniferous aquifer within the development of the

Araukarite suite is sulfate-hydrocarbonate; there are also hydrocarbonate-sulfate waters. Calcium and sodium pre-dominate among the cations.

In terms of quality indicators, the water from the capturing well does not meet the requirements of SanPiN 2.1.4.1074-01 «Drinking water. Hygienic requirements for water quality in centralized drinking water supply systems». The main contribution to the composition of groundwater is made by infiltration waters of the Korsun River. It was established by statistical analysis that the main factors that stimulate eutrophication are the mineral forms of nitrogen (Nmin) and phosphorus (Pmin).

Knowing the normative value of the criterion for a specific water system, it is possible to calculate the EBC for various pollutants based on the multiple regression equation. Table 1 shows the EBC for pollutants in the water of the Korsun River.

Table 1.

EBC of pollutants for the Korsun river

Index	EDK, mg/dm ³	MPC, mg/dm ³	
		hygienic	fishery
Ammonium ions	1,0	1,0	0,5
Nitrite	0,1	0,1	0,02
Nitrates	1,6	10,3	9,1
BOD ₂₀	3,0	3,0	3,0
Phosphates	0,1	1,1	0,2

The data presented in Table 1 show that the EBC differs from the hygienic and fishery MPCs. This indicates the need to strengthen control of nitrogen and phosphorus in the treated wastewater that enters the river. Korsun.

When calculating the maximum permissible discharge, the basic equation is used [4]:

$$qC_{cm} + \gamma \cdot Q \cdot C_{\phi} = (q + \gamma \cdot Q)C_{\kappa cm}, \tag{10}$$

where Q, q – respectively, the flow rate of water in a water body and wastewater;

C_{cm}, C_φ, C_{κ.ст} – respectively, the concentration of substances in wastewater, in a water body to wastewater discharge and in the control section, mg / dm³;
γ – mixing ratio.

The concentration of a substance in waste water is determined by the well-known formula [4]:

$$C_{cm} = \frac{\gamma \cdot Q}{q} (C_{\kappa cm} - C_{\phi}) + C_{\kappa cm}, \tag{11}$$

The permissible concentration of a pollutant in waste water (DCst) must meet condition (11), at which C_{κ.ст} ≤ ПДК:

$$ДК_{cm} = \frac{\gamma \cdot Q}{q} (ПДК - C_{\phi}) + ПДК, \tag{12}$$

Required degree of wastewater treatment (D%):

$$D = \frac{C_{факт} - ДК_{cm}}{C_{факт}} 100\%, \tag{13}$$

With a large number of emissions and pollutants, such calculations often lead to non-realistic results when the concentrations become very low. According to the data in Table 2, the permissible concentrations of some substances in wastewater are much less than their permissible content

in drinking water, that is, the discharge of even city tap water to the river should be prohibited.

Table 2.

Comparison of permissible concentrations of contaminants in wastewater with regulatory requirements

Contaminants	DC in wastewater, mg/dm ³	SanPiN for drinking water, mg/dm ³	MPC for water bodies of household and drinking water use, mg/dm ³
Sulphates	360,0	500,0	500,0
Iron	0,3	0,3-1,0	0,3
A Aluminum	0,3	0,5	0,5
Ammonium nitrogen	0,2	–	1,0

In this case, it is necessary to introduce a comprehensive analysis with an assessment of economic and environmental risk. At the same time, it is necessary to apply economic criteria for the cost of control and measures to improve the quality of water, both natural and drinking. The methodological basis is the use of economic analyzes of the «cost-benefit» and «risk-cost» type [5].

In order to improve the quality of water, it is proposed to install floats – bioreactors upstream of the flow section (Figure 5).



Figure 5. Layout of floats – bioreactors in the section of the Korsun river

To find the optimal control mode for the quality of purified water, the method of dynamic programming is used. In general, the mathematical description of each stage of water treatment can be represented by a system of equations:

$$\left. \begin{aligned} x_1^i &= \varphi_1^i(x_1^{i-1}, u_1^i, \dots, u_r^i) \\ x_2^i &= \varphi_2^i(x_2^{i-1}, u_1^i, \dots, u_r^i) \\ &\dots\dots\dots \\ x_m^i &= \varphi_m^i(x_m^{i-1}, u_1^i, \dots, u_r^i) \end{aligned} \right\}, \tag{14}$$

connecting the output parameters of the i-th stage x_kⁱ (k = 1, ..., m) with the output parameters of the previous stage x_{ki-1} and the control parameters u_lⁱ (l = 1, ..., r) used at the i-th stage.

The dimensions of the state variables xi and control ui in the general case can be different for different stages of

the cleaning process; moreover, when solving the system of equations, it will be assumed that

$$x^i \in X^i, u^i \in U^i, \quad (15)$$

where X^i, U^i are the regions of admissible variables x^i and u^i .

The efficiency of each stage of cleaning is assessed by the criterion of optimality – the amount of costs at each stage:

$$\Pi^i = \psi^i(x^{i-1}, U^i), \quad (16)$$

The resulting assessment of the cleaning efficiency as a whole is determined as the total function of the costs obtained at each stage:

$$\Pi_N = \sum_{i=1}^N \Pi^i(x^{i-1}, U^i) \rightarrow \min, \quad (17)$$

where Π_N is the minimum cost, which depends on the set of control actions at all stages of cleaning and which can be obtained from the expressions:

$$U_N^{onm} = (U_1^{onm}, U_2^{onm}, \dots, U_N^{onm}), \quad (18)$$

Controlling influences in the process of water treatment can be: residence time at each stage of purification, speed of water movement, type and dose of reagent and sorbent, loading parameters, loading regeneration mode, and others.

Recommendations for the implementation of the three zones of the sanitary protection areas were proposed, and the rules for development and land use within the boundaries of the sanitary protection zone were formulated, considering its functional and intended use.

Conclusion: the availability of water is one of the fundamental factors that determine the possibility of developing settlements, economic growth. Security, environmental safety and reliability of water supply sources is the main task, solution of which requires an integrated approach, especially with organizing sanitary zones protection of water supply sources and water supply facilities in the conditions of the prevailing built-up areas.

References

1. Klyuev N.A., Kurlyandsky B.A., Revich B.A., Filatov B.N. *Dioxins in Russia*. [Tekcm] – M., 2001. – 210 s.
2. Kichigin V.I., Palagin E.D. *Comprehensive assessment of the quality of natural waters*. [Tekcm] // *Water supply and sanitary engineering*. – 2005. – No. 7. – p. 11-15.
3. RF Patent No. 2050128 dated December 20, 1995.
4. Bertoks P., Rudd D. *Strategy of environmental protection from pollution*. [Tekcm] – M.: Mir, 1980. – 606 p.
5. Porfiryev V.N. *Environmental expertise and technology risk*. [Tekcm] Ed. YES. Krivolutsky. // *Results of Science and Technology. Series. «Nature protection and reproduction of natural resources»*. – T. 27. – M.: VINITI, 1990. – 234 p.
6. Kichigin V.I., Palagin E.D. *Comprehensive assessment of the quality of natural waters // Water supply and sanitary engineering*. [Tekcm] – 2005. – No. 7. – p. 11-15.
7. Robert J. Harberg. *Planning and Managing Reliable URBAN Water Systems*. [Tekcm] – AWWA, 1997. – 237 p.
8. Vollenweider R.A., Kerekes J. *The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD program on eutrophication*. [Tekcm] // *Progr. Wat. Technol.* – 1980 – Vol. 12, no. 2 – P. 5-38.
9. *Determination of the redox index for water bodies*. [Tekcm].: RF Patent No. 2050128 dated December 20, 1995.
10. Tsvetkova L.I., Kopina G.N. *Actual problems of water resources protection. Anthropogenic eutrophication of water bodies*. [Tekcm] – L.: LISI, 1984. – 20 p.
11. Yatsik A.V. *Vodogospodarska ecology: at chotir'kh volumes, seven books*. [Tekcm]. – K.: Genesa, 2004. – vol. 3, book 5. – 496 s.
12. Lowen S.B., Teich M.C. *Fractal renewal processes generate I/f noise*. [Tekcm] // *Physical Review. E*. – 1993. – Vol. 47, № 2. – P.992-1001.
13. Maslov S., Paczuski M., Bak P. *Avalanches and I/f noise in evolution and growth models*. [Tekcm] // *Physical Review Letters*. – 1994. – Vol. 73, – № 16. – P.2162-2165.
14. Bosch A., Sanchez G., Le Guyader F. et al. *Human enteric viruses in Coquina clams associated with a large hepatitis A outbreak*. [Tekcm] // *Water Sci. Nechnol.* – 2001. – Vol. 43, №12. – P.61-65.
15. Casas N., Sunen E. *Defection of enterovirus and hepatitis A virus PNA in mussels (Mytilus spp.) by reverse transcriptase-polymerase chain reactin* [Tekcm] // *J.Appl.Microbiol.* – 2001. – Vol. 90, № 1. – P. 89-95.
16. DiGiano F.A. et al. *Nitrification and Nitrosation on the Surface of GAC* [Tekcm] // AWWA. – 1986. – Vol. 78, № 8. – P. 70.
17. Juttner F. *β-cyclocitral and alkanes in Microcystis (Cyanophyceae)* [Tekcm] // *Z. Naturforsch.* – 1996. – Vol. 31, № 9-10. – p. 491-495.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЛОВОГО ИНДЕКСА ОТ НАГРУЗКИ НА АКТИВНЫЙ ИЛ НА ГОРОДСКИХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В. В. Маркин, к.т.н., старший преподаватель

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

Аннотация. Статья посвящена исследованию зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил по БПК_н на канализационных очистных сооружениях ряда населенных пунктов Донбасса, работающих в режиме низких нагрузок. В результате исследования установлено, что в диапазоне нагрузок на ил от 25 до 180 мгБПК_н/(г·сут) иловый индекс имеет слабую корреляцию с нагрузкой и практически не изменяется в зависимости от ее варьирования в пределах указанного интервала. Кроме того, определено, что в указанном диапазоне нагрузок, при условии поддержания основных технологических параметров процесса биологической очистки на требуемых уровнях, иловый индекс находится в основном в пределах от 80 до 130 см³/г, т. е. активный ил сохраняет хорошие седиментационные свойства, что позволяет осуществлять эффективный процесс биологической очистки.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, активный ил, иловый индекс, нагрузка на активный ил по БПК.



**Маркин Вячеслав
Владимирович**

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основным способом очистки городских сточных вод, применяемым в большинстве случаев, является биологическая очистка с помощью активного ила в аэротенках или биореакторах другого типа. Одно из важнейших свойств активного ила, которое обуславливает его широкое применение, – способность оседать под действием гравитационной силы. Благодаря данному свойству активный ил можно сравнительно легко отделять от очищенной сточной воды после завершения процесса биологической очистки, после чего вновь возвращать в биореактор. Способность активного ила к оседанию характеризуется несколькими параметрами, главным из которых является иловый индекс.

Иловый индекс – это объем, который занимает 1 грамм сухого вещества активного ила после 30 мин. отстаивания. Считается, что для осуществления эффективного процесса биологической очистки иловый индекс должен находиться в пределах от 60 до 150 см³/г. Увеличение илового индекса более 150 см³/г называют «вспуханием» активного ила. При «вспухании» ил становится более «легким», медленно оседает во вторичных отстойниках и занимает больший объем, что может приводить к его повышенному выносу из отстойников. Вследствие повышенного выноса ила, во-первых, ухудшается качество очистки сточных вод, во-вторых, снижается доза ила в аэротенках, в-третьих, уменьшается возраст ила и, как общий результат, может быть нарушен процесс биологической очистки в целом.

Иловый индекс, являясь одним из показателей качественного состояния активного ила, может изменяться под влиянием различных факторов, среди которых: резкое изменение расхода сточных вод или их состава, присутствие в сточной жидкости токсичных компонентов, недостаток растворенного кислорода в иловой смеси и др. Однако, если указанные факторы не превышают адаптационную способность активного ила, то в теории биологической очистки считается, что значение илового индекса зависит в основном от нагрузки на активный ил по БПК. В связи с указанным, исследование зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил является актуальным.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В отечественной практике проектирования значение илового индекса принималось по рекомендациям СНиП 2.04.03-85 [1] в зависимости только от нагрузки на активный ил по БПК_н. Актуализированная версия данного документа СП 32.13330.2012 [2] не содержит рекомендаций по определению илового индекса,

поэтому остается пользоваться рекомендациями СНиП 2.04.03-85. Зависимость илового индекса J_i , $\text{см}^3/\text{г}$, от нагрузки на ил q_i , $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ для городских сточных вод в соответствии с данными СНиП 2.04.03-85 приведена на рис. 1.

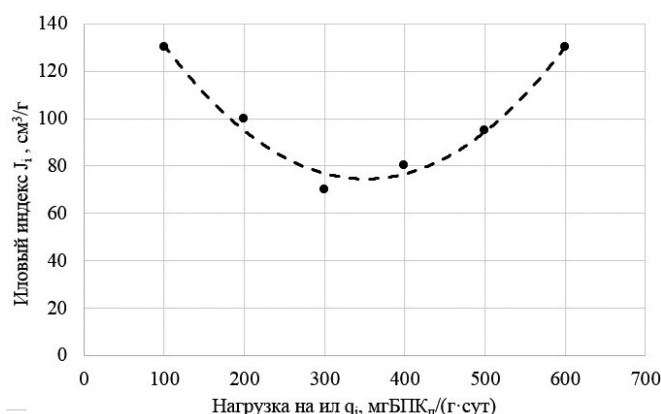


Рис. 1. Зависимость илового индекса от нагрузки на активный ил по данным [1]

Точки на рис. 1 хорошо аппроксимируются параболической зависимостью с «ветвями», направленными вверх, а наиболее оптимальный диапазон илового индекса находится в пределах нагрузок от 150 до 550 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$. Кроме того, судя по форме зависимости, при уменьшении нагрузки ниже 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ и при увеличении свыше 600 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ иловый индекс будет значительно повышаться и превышать допустимые пределы.

Необходимо отметить, что нагрузка на активный ил по БПК_n согласно [1] определяется по формуле

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}}, \quad (1)$$

где L_{en} — БПК_n сточной воды, поступающей на биологическую очистку, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$;

L_{ex} — БПК_n биологически очищенной сточной воды, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$;

a_i — доза ила, $\text{г}/\text{дм}^3$;

s — зольность ила;

t_{at} — время аэрации, ч.

Формула (1) несколько отличается от общепринятой тем, что в ней учитывается количество БПК_n, снимаемое 1 граммом беззольного вещества активного ила за сутки. Тогда как по определению, нагрузка на активный ил — это количество загрязнений, приходящееся на 1 грамм беззольного вещества ила в сутки.

В источнике [3] приводится зависимость илового индекса от нагрузки на активный ил, которая очень похожа на зависимость, данную в СНиП 2.04.03-85 (рис. 2). Там же указывается, что при недогрузке или перегрузке активного ила происходит повышение илового индекса выше технологических норм. В случае недогрузки «вспухание» активного ила объясняется тем, что недостаток питательных веществ приводит к нарушению флокулообразующей способности бактерий, из-за чего хлопья ила измельчаются и становятся более легкими [3].

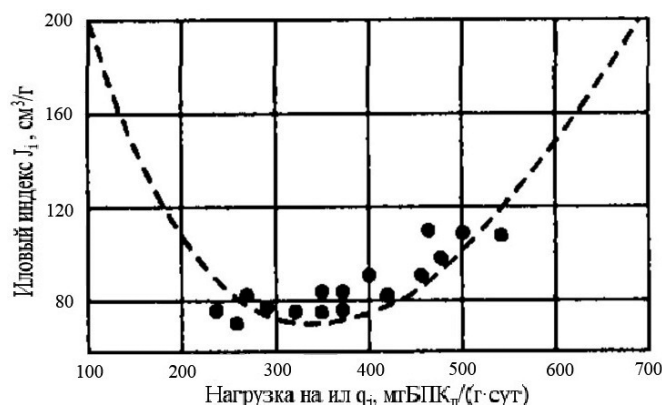


Рис. 2. Зависимость илового индекса от нагрузки на активный ил по данным [3]

В рассмотренных выше источниках, хотя и предполагается повышение илового индекса выше технологических требований при нагрузках ниже 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$, однако, не указывается, какие именно значения он будет принимать. Между тем, именно интервал нагрузок от 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ и ниже является весьма актуальным в настоящее время для практического использования, и связано это с необходимостью обеспечения высокой степени очистки сточных вод от соединений азота.

Например, согласно директиве ЕС № 91/271 от 21.05.1991 г. при сбросе сточных вод в водоемы, подверженные эвтрофикации, для очистных сооружений с эквивалентной нагрузкой более 100 тыс. условных жителей содержание общего азота должно быть не более 10 $\text{мг}/\text{дм}^3$ [4]. По действующим в Российской Федерации нормам при сбросе сточных вод в водоемы культурно-бытового назначения содержание азота аммонийного в расчетном створе не должно превышать 2 $\text{мг}/\text{дм}^3$, нитратов — 10 $\text{мг}/\text{дм}^3$ [5]. В водоемах рыбохозяйственного водопользования предельно допустимые концентрации аммония солевого — 0,39 $\text{мг}/\text{дм}^3$, нитритов — 0,02 $\text{мг}/\text{дм}^3$, нитратов — 9,1 $\text{мг}/\text{дм}^3$ [6].

В соответствии с приведенными нормативными требованиями канализационные очистные сооружения (КОС) должны обеспечивать достаточно глубокую биологическую очистку сточных вод от соединений азота. Биологическая очистка стоков от соединений азота состоит из двух этапов: нитрификации и денитрификации.

Одним из главных условий протекания процесса нитрификации является низкая нагрузка на активный ил. Так, по данным [7] процесс нитрификации происходит при нагрузках на ил менее 150 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$, а при нагрузках менее 50 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ — еще и одновременная частичная стабилизация активного ила. В источнике [3] указано, что нитрификация осуществляется при нагрузках на активный ил 65-150 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ и ниже. Опыт эксплуатации станций аэрации г. Москвы и г. Санкт-Петербурга показывает, что для стабильной глубокой нитрификации желательно поддерживать нагрузку на ил не выше 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ [8].

Для возможности выполнения технологических расчетов процесса биологической очистки сточных вод с нитрификацией необходимо исследовать, какими

будут значения илового индекса в режиме низких нагрузок на активный ил.

Целью работы является исследование зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил на городских канализационных очистных сооружениях в режиме низких нагрузок.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для реализации поставленной цели был выполнен анализ работы ряда очистных сооружений населенных

пунктов Донбасса: г. Макеевки, г. Тореза, г. Горловки, г. Енакиево, г. Дружковки, г. Дебальцево, г. Шахтерска, г. Селидово, г. Горняка и п. Кондратиевки, за период с февраля 2020 г. по август 2021 г.

Анализ проведен по данным журналов лабораторно-производственного контроля работы очистных сооружений.

В результате была составлена сводная таблица, в которой приведены усредненные за каждый месяц значения нагрузки на активный ил и илового индекса (таблица 1).

Таблица 1.

Результаты изучения изменения илового индекса в зависимости от нагрузки на активный ил на КОС ряда населенных пунктов Донбасса

Наименование КОС	февраль 2020 г.		март 2020 г.		апрель 2020 г.		май 2020 г.		июнь 2020 г.	
	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$
КОС г. Амвросиевки	34	77	—	—	—	—	—	—	—	—
КОС г. Горловки	128	108	164	115	141	116	114	115	148	117
КОС п. Кондратиевки	140	112	120	119	132	115	106	116	82	110
КОС г. Докучаевска	-	-	56	134	64	103	69	117	66	117
КОС г. Дружковки	45	107	44	127	41	144	46	138	44	107
КОС г. Енакиево	91	136	76	143	46	140	56	133	50	125
КОС г. Дебальцево	46	107	67	107	67	109	38	106	42	106
КОС г. Макеевки	106	110	80	107	80	115	70	111	59	97
КОС г. Селидово	56	121	44	127	44	126	43	129	35	125
КОС п. Горняка	37	108	25	122	26	129	27	146	28	122
КОС г. Тореза	44	76	36	80	44	85	42	88	37	96
КОС г. Шахтерска	111	123	80	123	97	130	166	133	149	136

Наименование КОС	июль 2020 г.		август 2020 г.		сентябрь 2020г.		октябрь 2020 г.		ноябрь 2020 г.	
	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$
КОС г. Амвросиевки	-	-	-	-	-	-	32	91	31	93
КОС г. Горловки	119	117	154	114	165	114	158	117	168	115
КОС п. Кондратиевки	99	118	100	119	89	114	101	109	170	113
КОС г. Докучаевска	73	124	80	123	97	123	83	119	93	122
КОС г. Дружковки	42	107	43	122	39	108	46	106	45	104
КОС г. Енакиево	76	125	88	116	74	109	79	119	74	110
КОС г. Дебальцево	66	110	45	109	54	109	61	109	78	110
КОС г. Макеевки	85	101	85	106	60	89	59	80	81	83
КОС г. Селидово	66	120	65	112	49	112	105	116	54	126
КОС п. Горняка	37	108	29	111	27	107	54	118	67	129
КОС г. Тореза	36	91	39	100	38	88	40	92	43	84
КОС г. Шахтерска	114	139	116	125	97	120	85	126	100	128

Наименование КОС	декабрь 2020 г.		январь 2021 г.		февраль 2021г.		март 2021 г.		апрель 2021 г.	
	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$
КОС г. Амвросиевки	33	92	39	83	34	86	30	82	33	90
КОС г. Горловки	121	117	96	133	107	117	62	118	73	113
КОС п. Кондратиевки	175	111	98	119	88	120	59	109	66	114
КОС г. Докучаевска	116	126	168	78	140	74	134	75	117	78
КОС г. Дружковки	45	108	46	107	56	104	46	110	46	102
КОС г. Енакиево	68	109	74	110	55	122	29	117	48	119
КОС г. Дебальцево	75	111	80	110	58	108	73	109	59	109
КОС г. Макеевки	-	-	45	81	64	73	41	69	-	-
КОС г. Селидово	67	124	33	132	69	113	60	122	64	118
КОС п. Горняка	53	135	35	113	43	119	58	114	43	127
КОС г. Тореза	40	81	43	76	44	72	44	72	42	80
КОС г. Шахтерска	100	126	98	125	105	128	100	128	116	126

Продолжение таблицы 1.

Наименование КОС	май 2021 г.		июнь 2021 г.		июль 2021 г.		август 2021 г.	
	q _и , мгБПКп/(г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г	q _и , мгБПКп/(г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г	q _и , мгБПКп/(г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г	q _и , мгБПКп/(г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г
КОС г. Амвросиевки	31	92	32	92	29	91	33	92
КОС г. Горловки	86	114	194	113	134	108	123	106
КОС п. Кондратиевки	59	110	65	106	61	107	89	103
КОС г. Докучаевска	114	78	91	84	79	81	79	80
КОС г. Дружковки	39	103	40	102	44	97	41	125
КОС г. Енакиево	41	117	37	113	65	127	64	133
КОС г. Дебальцево	40	107	52	108	48	108	61	110
КОС г. Макеевки	59	69	-	-	24	65	44	74
КОС г. Селидово	108	125	89	120	85	111	111	112
КОС п. Горняка	59	120	53	110	37	91	89	91
КОС г. Тореза	41	84	37	92	42	76	43	76
КОС г. Шахтерска	103	124	157	125	110	106	111	125

Указанные станции биологической очистки были выбраны для исследования, поскольку основные технологические параметры их работы стабильно поддерживаются на требуемых уровнях:

- концентрация растворенного кислорода в иловой смеси на выходе из аэротенков составляет не менее 2 мгО₂/дм³;
- доза ила на выходе из аэротенков – от 1 до 3 г/дм³;
- процесс илоразделения во вторичных отстойниках, сбор и перекачивание циркулирующего активного ила осуществляются эффективно и с достаточной степенью рециркуляции.

В связи с тем, что фактическое количество поступающих на КОС сточных вод составляет 20...30 % от их проектной производительности, изучаемые сооружения биологической очистки работают в режиме низких нагрузок (как это видно из таблицы 1).

Нагрузки на активный ил, приведенные в таблице 1, рассчитывались по формуле (1). Поскольку плановым лабораторно-производственным контролем не предусмотрено определение БПК_п в сточных водах перед и после биологической очистки, соответствующие значения были получены умножением значения БПК_з на коэффициент 1,33.

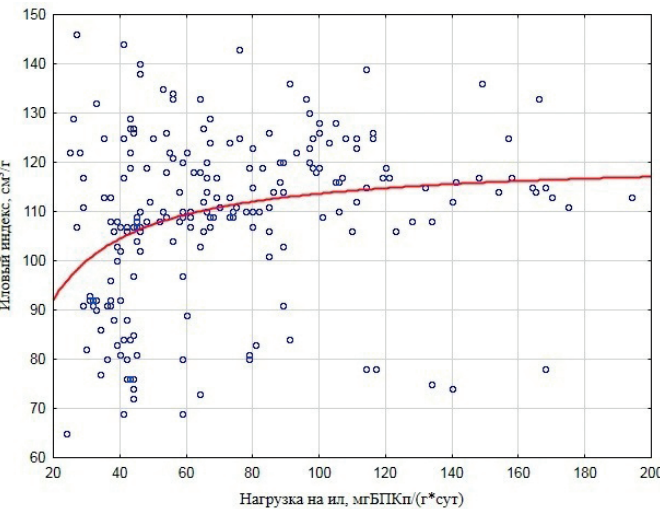


Рис. 3. График зависимости илового индекса от нагрузки на ил

Для определения эмпирической зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил данные таблицы 1 были представлены в виде диаграммы рассеяния (рис. 3) и выполнен их регрессионный анализ. Регрессионный анализ производился с помощью программного пакета STATISTICA 10.

В результате регрессионного анализа было подобрано уравнение регрессии:

$$J_i = \frac{120,713q_i}{6,226 + q_i}, \tag{2}$$

где J_и – иловый индекс, см³/г;
q_и – нагрузка на активный ил, мгБПК_п/(г·сут).

Результаты проверки статистической значимости оценок коэффициентов уравнения регрессии приведены в таблице 2. Оба коэффициента статистически значимые, т. к. р-уровень для обоих коэффициентов меньше принятого уровня значимости α = 0,05.

Таблица 2.
Оценки коэффициентов уравнения регрессии и проверка их статистической значимости

Коэффициенты	Оценки коэффициентов	Стандартные ошибки коэф.	Значения t-критерия	p-уровень
a	120,713	3,195	37,78	0,0000
b	6,226	1,633	3,81	0,0002

Результаты проверки адекватности полученного уравнения регрессии с помощью критерия Фишера указаны в таблице 3. Уровень вероятности для F-критерия значительно меньше уровня значимости α = 0,05, соответственно по F-критерию уравнение регрессии можно признать адекватным.

Для оценки адекватности уравнения регрессии также важно проанализировать регрессионные остатки, которые должны иметь приближенно нормальное распределение.

Гистограмма дифференциального распределения регрессионных остатков и диаграмма соответствия фактических и ожидаемых нормальных значений остатков приведены на рис. 4.

По форме гистограммы можно заключить, что регрессионные остатки имеют приближенно нормальное

Таблица 3.

Результаты проверки адекватности уравнения регрессии с помощью критерия Фишера

Эффекты	Суммы квадратов отклонений	Степени свободы	Дисперсии	Значение F-критерия	p-уровень
Регрессии	2586245	2	1293123	4741,5	0,000
Остатков	58636	215	273		
Общие	2644881	217			

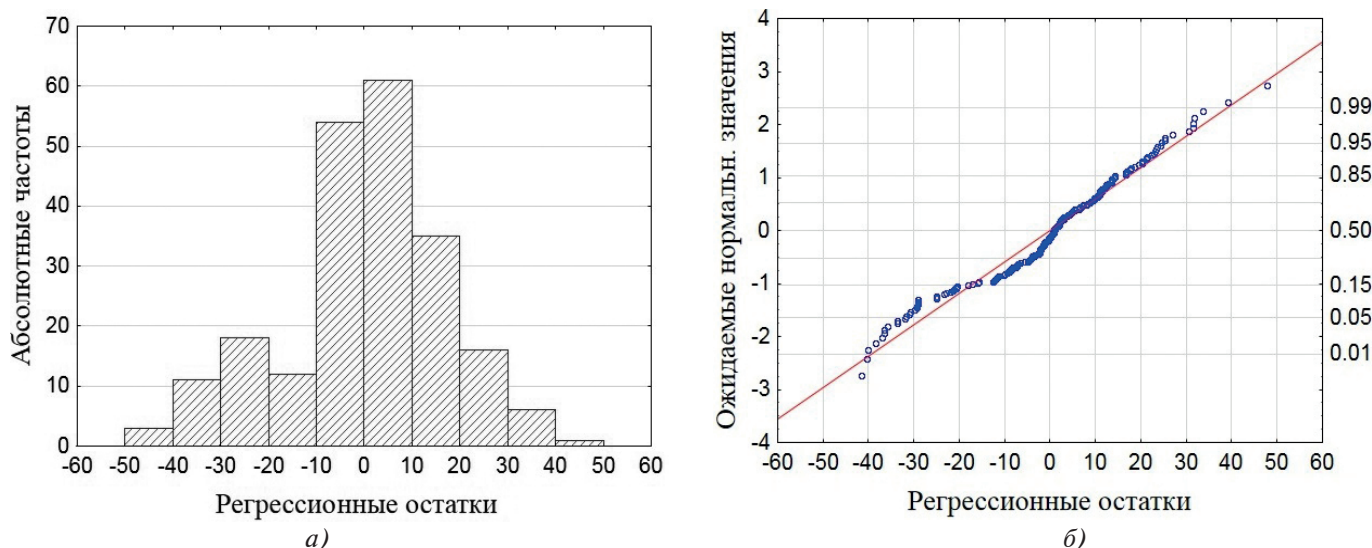


Рис. 4. Гистограмма распределения регрессионных остатков (а) и диаграмма соответствия фактических и ожидаемых нормальных значений остатков (б)

распределение. На диаграмме соответствия фактические значения остатков незначительно отклоняются от теоретической линии нормальных ожидаемых значений.

Таким образом, по результатам всех статистических тестов уравнение регрессии адекватно.

Однако, коэффициент корреляции R данного уравнения составляет 0,28. Соответственно, по шкале Чеддока тесноту связи между нагрузкой на ил и иловым индексом в исследованном интервале можно отнести к слабой или находящейся на границе между слабой и умеренной. Коэффициент детерминации R^2 равен всего 0,08, т. е. уравнение регрессии объясняет всего 8 % изменчивости илового индекса за счет изменения нагрузки на ил. Это означает, что оставшаяся часть изменчивости объясняется какими-то другими факторами.

Теоретически было предположено, что на иловый индекс может влиять температура сточных вод, поскольку разница между температурой стоков зимой и летом на исследованных КОС значительно отличается. Летом температура сточных вод колеблется в диапазоне от 20 до 23 °С, а зимой — от 5 до 8 °С.

Для проверки значимости влияния температуры сточной воды на иловый индекс из таблицы 1 были сформированы две выборки: первая выборка — значения иловых индексов на КОС в летний период с 06.2021 г. по 08.2021 г., вторая выборка — значения иловых индексов в зимнее время с 12.2020 г. по 02.2021 г. (таблица 4).

Среднее значение илового индекса в первой выборке — 101,7 см³/г, во второй — 106,9 см³/г. Разница довольно незначительная — 5,2 см³/г. Проверка гипотезы о статистической незначимости выявленного

различия между выборочными средними была выполнена с помощью парного t-теста Стьюдента, а также с помощью дисперсионного анализа. Вычисленное значение критерия Стьюдента при сравнении двух выборочных средних составило $t_{\text{факт}} = 1,204$. Вероятность получить такое значение критерия Стьюдента при верности нулевой гипотезы равна 11,6 %, что больше принятого 5 %-го уровня значимости. Соответственно, оснований отклонять нулевую гипотезу нет и разницу между выборочными средними можно признать статистически незначимой.

В результате выполнения дисперсионного анализа внутригрупповая дисперсия двух выборок $D_{\text{в.г.}}$ составила 329,6, а межгрупповая $D_{\text{м.г.}}$ — 478,4. Критерий Фишера равен $F_{\text{факт}} = D_{\text{м.г.}}/D_{\text{в.г.}} = 478,4/329,6 = 1,451$. Критическое значение критерия Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $df_1 = 1$ и $df_2 = 68$ составляет 3,983. Фактическое значение $F_{\text{факт}} = 1,451$ меньше критического $F_{\text{крит}} = 3,983$. p-уровень равен 0,233, что значительно больше уровня значимости $\alpha = 0,05$. Оснований отклонять нулевую гипотезу нет и различия между выборками можно признать статистически незначимыми.

В результате проведенных статистических тестов можно сделать вывод, что существенное изменение температуры сточных вод в зимнее и летнее время года не оказывает значимого влияния на величину илового индекса.

Для визуального представления тенденции изменения илового индекса во времени были построены графики его изменения за исследуемый период по месяцам для КОС городов Дружковка, Горняк, Торез и Шахтерск (рис. 5).

В течение анализируемого интервала времени иловый индекс на КОС г. Дружковки, г. Горняка и г. Шахтер-

Таблица 4.

Выборки значений илового индекса на КОС в летнее и зимнее время года

Выборка №1 — Значения илового индекса на КОС за летний период: 06.2021 г. — 08.2021 г.			Выборка №2 — Значения илового индекса на КОС за зимний период: 12.2020 г. — 02.2021 г.		
92	91	92	86	83	92
106	108	113	117	133	117
103	107	106	120	119	111
80	81	84	74	78	126
125	97	102	104	107	108
133	127	113	122	110	109
110	108	108	108	110	111
74	65	120	73	81	124
112	111	110	113	132	135
91	91	92	119	113	81
76	76	125	72	76	126
125	106		128	125	

ска изменялся в диапазоне от 90 до 150 см³/г, но большую часть времени не выходил за пределы от 100 до 130 см³/г, т. е. соответствовал технологическим требованиям. На КОС г. Тореза иловый индекс пребывал на более низком уровне, изменяясь от 70 до 100 см³/г. Более низкие значения илового индекса на КОС г. Тореза по сравнению с другими КОС не связаны с влиянием нагрузки на ил, поскольку нагрузки на ил, например, на КОС г. Тореза и КОС г. Дружковки сопоставимы (таблица 1).

Предположительно одним из факторов, которые влияют на значение илового индекса, может быть состав исходной сточной воды и, в частности, характер взвесей. Взвешенные вещества играют существенную роль в процессе хлопьеобразования, поскольку часть из них включается в состав биофлокула в виде инертных частиц. Зольность активного ила составляет обычно от 25 до 35 %. При этом собственная зольность биомассы (минеральная часть клеточного вещества) равняется всего 5...7 %, а оставшаяся минеральная часть — это инертные взвешенные частицы. Чем большей плотностью будут обладать взвешенные вещества, тем более тяжелым будет и активный ил (при прочих равных условиях).

Можно заключить, что в проведенном исследовании не было выявлено сильной зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил или от каких-либо других факторов в условиях низких нагрузок. Но с практической стороны более важно, что в исследованном интервале низких нагрузок иловый индекс не увеличивается выше требуемых технологических значений. Также важно отметить, что в выполненном исследовании теория о том, что при низких нагрузках на ил (менее 100 мгБПК_п/(г·сут)) будет происходить измельчение хлопьев ила и его «вспухание», не подтвердилась.

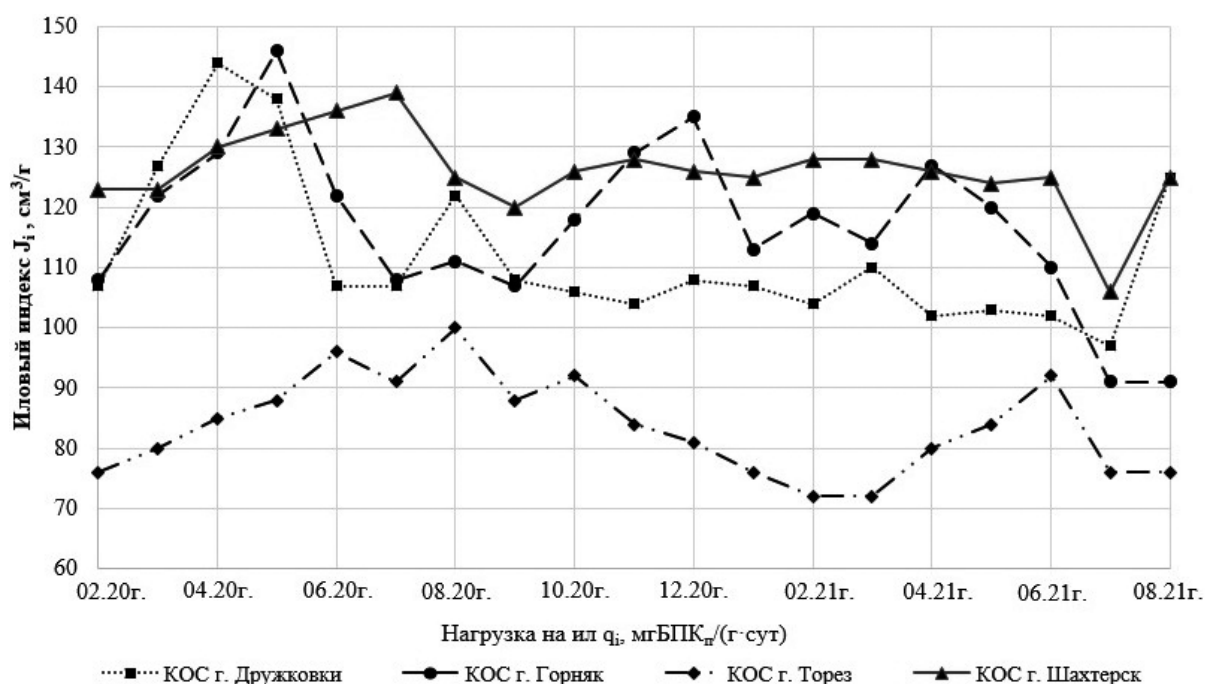


Рис. 5. Изменение илового индекса на КОС гг. Дружковка, Горняк, Торез, Шахтерск в период с 02.2020 г. по 08.2021 г.

ВЫВОДЫ

По результатам исследований, проведенных на городских канализационных очистных сооружениях, можно сделать следующие выводы:

1. Иловый индекс в диапазоне нагрузок на активный ил от 25 до 180 мгБПК_п/(г·сут) слабо коррелирует с нагрузкой и практически не изменяется в зависимости от ее варьирования на данном интервале. Существенная разница между температурой сточной воды в летнее и зимнее время года (20...23 °С — летом и 5...8 °С — зимой) не оказывает значимого влияния на изменение илового индекса.

2. В исследованном низком диапазоне нагрузок, при поддержании основных технологических параметров процесса биологической очистки на требуемых уровнях, иловый индекс изменяется в основном в пределах от 80 до 130 см³/г, что является хорошим показателем седиментационных свойств ила и позволяет осуществлять эффективную биологическую очистку сточных вод.

3. При проектировании сооружений биологической очистки с низкими нагрузками на активный ил рекомендуется принимать иловый индекс равным верхней границе полученного интервала — 130 см³/г, что позволит выполнять технологические расчеты вторичных отстойников или илоотделителей с достаточной степенью надежности.

Список литературы

1. СНиП 2.04.03-85. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст]. — Введ. 1985-05-01. — М.: ФГУП ЦПП, 2006. — 87 с.
2. СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНИП 2.04.03-85 [Текст]. — Взамен СП 32.13330.2012. Актуализированная редакция СНИП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. ; введ. 2019-06-26. — М.: ФГУП «Стандартинформ, 2019. — 76 с.
3. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов [Текст] / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. — М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. — 704 с.
4. Директива № 91/271/ЕЭС Совета Европейских сообществ «Об очистке городских сточных вод» [Текст] / принята в г. Брюсселе 21.05.1991 ; с изм. и доп. от 17.12.2013. — 13 с.
5. СанПиН № 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения [Текст] / утв. гл. гос. сан врачом СССР 4 июля 1988 г. ; вводятся вновь с 01.01.1989. — Москва, 1989. — 59 с.
6. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [Текст] / М.: Изд-во ВНИРО, 1999. — 304 с.
7. Karl Imhof. Kanalizacja miast i oczyszczanie cieków : Poradnik. Projprzem-EKO [Text] / Karl R. Imhof, Klaus R. Imhof. — Bydgoszcz, 1996. — 450 p.
8. Мишуков, Б. Г. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации ; приложение к журналу «Вода и экология. Проблемы и решения» [Текст] / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева. — СПб.: ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», 2004. — 72 с.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Планируемый к изданию 18-й номер научно-практического журнала «Строитель Донбасса» будет включать статьи и сообщения, в которых излагаются результаты исследований и разработок по направлениям:

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

ИНЖЕНЕРНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

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

АРХИТЕКТУРА

- исследование проблем архитектуры, ее стилеобразования, эстетики и художественной выразительности;
- процессы формирования современной градостроительной среды объектов городской застройки;

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

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НЕДВИЖИМОСТИ

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

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

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

**Материалы просим направлять до 11 марта 2022 г. по адресу:
286123, 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**

НАГРАДЫ ГЛАВЫ ДНР, ЗАВЕРШЕНИЕ РОССИЙСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АККРЕДИТАЦИИ ДОННАСА, УДОСТОВЕРЕНИЯ О ПОВЫШЕНИИ КВАЛИФИКАЦИИ: В МИНОБРНАУКИ СОСТОЯЛОСЬ ТОРЖЕСТВЕННОЕ МЕРОПРИЯТИЕ

Во вторник, 30 ноября, в Минобрнауки состоялось торжественное мероприятие по вручению представителям педагогического сообщества государственных наград Главы Донецкой Народной Республики и ряда других важных документов.

Первый заместитель Министра образования и науки ДНР Любовь Волкова поздравила коллектив ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» с успешным прохождением заключительного этапа государственной аккредитации в Российской Федерации всех образовательных программ, подчеркнула важность этого события в реализации интеграционных процессов и вручила первому проректору Виктории Севке Приказ Рособрнадзора о переоформлении свидетельства об аккредитации образовательной деятельности.

Самым торжественным моментом стало вручение представителям педагогического сообщества государственных наград Главы Донецкой Народной Республики.

Медалью «За трудовую доблесть» награждены заместитель директора по научно-методической работе, учитель химии ГБНОУ «Республиканский лицей-интернат «Эрудит» – центр для одаренных детей» Татьяна Козлова и преподаватель ГПОУ «Донецкий музыкальный колледж им. С. С. Прокофьева» Алексей Федоров.

Нагрудным знаком и дипломом к почетному званию «Заслуженный учитель Донецкой Народной Республики» награждены учитель математики МОУ «Школа № 6 с углубленным изучением отдельных предметов города Ясиноватая» Галина Губа, учитель русского языка и литературы МОУ «Безыменская школа» администрации Новоазовского района Надежда Денищук и учитель русского языка и литературы МОУ «Школа № 48 города Донецка» Неля Шепеленко.

Почетной грамотой Главы Донецкой Народной Республики отмечены учитель начальных классов МОУ «Лицей № 1 «Лидер» города Макеевки» Людмила Дранникова, декан факультета инженерных и экологических систем в строительстве ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» Александр Лукьянов и директор МОУ «Лицей № 2 «Престиж» города Макеевки» Юлия Юрьева.

Также двадцати одному педагогу вручена Благодарность Главы Донецкой Народной Республики.

Любовь Волкова поздравила педагогов с высокой оценкой их труда и профессионализма и пожелала дальнейших творческих успехов.



В ходе мероприятия педагогам общеобразовательных организаций были вручены удостоверения о повышении квалификации по программам дополнительного профессионального образования Центра дополнительного образования «Просвещение» (г. Сочи, Российская Федерация). В частности, по программе «Технологии подготовки к ГИА в формате ЕГЭ с применением дистанционных образовательных технологий по предмету «История» – 25 удостоверений и по программе «Оказание первой помощи» – 139 удостоверений.

Любовь Волкова отметила сотрудничество с Русским центром, плодотворную работу с Центром «Просвещение», который предоставляет широкие возможности для повышения профессионального уровня учителей Республики.





ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»



ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2



+38(0623) 43-70-33



mailbox@donnasa.org