

# СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety  
Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

№ 26(78) – 2022

Основан в 1996 году.  
Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

## Учредитель:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (КФУ им. В.И. Вернадского), 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

---

Включен в утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

Главный редактор

**Федоркин Сергей Иванович**, советник РААСН, д.т.н., проф.  
(КФУ им.В.И. Вернадского)

Заместители главного редактора:

**Любомирский Николай Владимирович**, советник РААСН,  
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

**Николенко Илья Викторович**, д.т.н., проф.  
(КФУ им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:

**Абдулгазис У.А.**, д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)

**Бакаева Н.В.**, д.т.н., проф. (ЮЗГУ, Курск);

**Бекиров Э.А.**, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,  
Симферополь);

**Беспалов В.И.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)

**Ветрова Н.М.**, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,  
Симферополь) – руководитель раздела «Экологическая без-  
опасность»;

**Графкина М.В.**, д.т.н., проф. (МГМУ, Москва);

**Гузнецков В.Н.**, д.пед.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Москва);

**Дворецкий А.Т.**, советник РААСН, д.т.н., проф.  
(КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь);

**Зайцев О.Н.**, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,  
Симферополь) – руководитель раздела «Инженерное обес-  
печение»;

**Кукунаев В.С.**, советник РААСН, д.т.н., с.н.с.  
(КФУ им.В.И. Вернадского, Симферополь);

**Маилян Д.Р.**, советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ро-  
стов-на-Дону);

**Нагаева З.С.**, член-корреспондент РААСН, д.арх., проф. –  
руководитель раздела «Градостроительство»

**Несветаев Г.В.**, советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ро-  
стов-на-Дону);

**Пищулина В.В.**, д.арх., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

**Сергейчук О.В.**, д.т.н., проф. (КНУСА, Киев, Украина);

**Серпоккрылов Н.С.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

**Толстой М.Ю.**, к.т.н., доц. (ИРНИТУ, Иркутск);

**Цопа Н.В.**, советник РААСН, д.э.н., проф. (КФУ  
им. В.И. Вернадского, Симферополь);

**Чемодуров В.Т.**, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,  
Симферополь);

**Чеботарев В.И.**, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

**Шаленный В.Т.**, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,  
Симферополь) – руководитель раздела «Строительство»;

**Шейна С.Г.**, советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ро-  
стов-на-Дону);

**Щербаков В.И.**, д.т.н., доц. (ВГТУ, Воронеж)

**Федосов С.В.**, академик РААСН, д.т.н., проф. (МГСУ,  
Москва)

## СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 26(78) – 2022

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического со-  
вета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
(протокол № 5 от 12.10.2022)

Координатор выпуска: *И.В. Николенко*  
Верстка: *Г.Р. Биленко*

Редакция Института «Академия строительства и  
архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вер-  
надского»

Адрес редакции: 95006, Республика Крым, г. Симфери-  
поль, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 200,  
e-mail: rio@napks.ru

Подписан в печать 17.10.2022.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 12,9.  
Тираж 100 экз.

Издатель: федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Крымский федеральный университет имени  
**В.И. Вернадского**».

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернад-  
ского»

<http://cfuv.ru>, [io\\_cfu@mail.ru](mailto:io_cfu@mail.ru)

(3652) 60-84-98,

295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект  
Академика Вернадского, 4, каб. 400Б

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО «КФУ  
им. В.И. Вернадского»  
295000, Республика Крым, г. Симферополь, бульвар Ле-  
нина, 5/7

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

© Академия строительства и архитектуры  
ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского», 2021

**СОДЕРЖАНИЕ****Раздел 1. Градостроительство****Панухин П.В.**

ВОЕННО-ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ И КАРТЫ  
КРЫМА В 1819-1853 ГОДАХ 5

**Раздел 2. Строительство****Шаленный В.Т., Семенов С.Ю., Иваненко Н.А.**

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ВЫ-  
СОКОТОЧНОГО МОНТАЖА КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ  
ЗАЩИТЫ ГРАЖДАНСКИХ ОБЪЕКТОВ 15

**Козай Э.А., Макарова Е.С., Федоркин С.И.**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕ-  
ТОНА НА ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНО-  
АКТИВАЦИИ СЫРЬЯ 27

**Калафатов Д.А., Богуцкий Ю.Г., Родин С.В.**

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС  
В ДИАФРАГМАХ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 35

**Раздел 3. Инженерное обеспечение****Ягьяев Э.Э., Велиляев С.М., Бекиров Э.А.**

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ МИКРОТЕКСТУРИРОВАНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ  
ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОБЛУЧЕНИЕМ  
ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ 41

**Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В.**

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАТИТНЫХ СТАТИЧЕСКИХ  
СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ СМЕШЕНИЯ РЕАГЕНТОВ СО СТОЧНЫМИ ВОДАМИ 51

**Петров А.М., Попов А.Н.**

РАЗРАБОТКА МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОДИНА-  
МИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОДНОФАЗНЫХ ПОТОКОВ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ТЕПЛО-  
СНАБЖЕНИЯ 59

**Циперко Л.Н., Бекиров Э.А.**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИОНИСТОРА  
ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ И РОДА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТА 65

**Донцова А.Е., Ольшевский В.Я., Столяров О.Н.**

МОНИТОРИНГ УТЕЧЕК ВОДЫ В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВА-  
НИЕМ ВСТРОЕННЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НИТЕЙ 71

**Раздел 4. Экологическая безопасность****Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В.**

ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЕЙ ДЛЯ СТОЧНЫХ  
ВОД ПРОИЗВОДСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ 81

**Табунищик В.А.**

ГУСТОТА РАСЧЛЕНЕНИЯ РЕЛЬЕФА В ПРЕДЕЛАХ ЛАНДШАФТОВ КРЫМСКОГО  
ПОЛУОСТРОВА 93

**Скрябин А.Ю., Иванкова Т.В.**

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕ-  
ВОЙ ВОДЫ ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ АЛЬМА РЕСПУБЛИКИ  
КРЫМ) 107

**Бунина Л.Н., Мовчан С.И.**

АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ШЛАМОВЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ 113

**Список авторов**

121

**Руководство для авторов**

122

## **CONTENT**

### **Section 1. Town planning**

<b>Polukhin P.V.</b> MILITARY TOPOGRAPHIC DEPOT OF THE RUSSIAN EMPIRE AND MAPS OF THE CRIMEA IN 1819-1853	5
---	---

### **Section 2. Construction**

<b>Shalenny V.T., Semenov S. Yu., Ivanenko N.A.</b> IMPORT-SUBSTITUTING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR OPERATIONS OF HIGH-PRECISION INSTALLATION OF KINEMATIC SYSTEMS OF SEISMIC PROTEC- TION OF CIVIL OBJECTS	15
--	----

<b>Kogai E.A., Makarova E.S., Fedorkin S.I.</b> IMPROVING THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING BASALT FIBER CONCRETE ON LIMESTONE AGGREGATES USING MECHANICAL ACTIVATION OF RAW MATE- RIALS	27
---	----

<b>Kalafatov D.A., Bogutskiy U.G., Rodin S.V.</b> TENSOMETRIC METHOD FOR DETERMINING SSS IN DIAPHRAGM	35
--	----

### **Section 3. Engineering Support**

<b>Yagyaev E.E., Veliliaev S.M., Bekirov E.A.</b> ANALYSIS OF THE METHOD FOR MICROTTEXTURING OF THE ABSORBING SUR- FACE OF A SOLAR COLLECTOR BY LASER PULSES IRRADIATION	41
--	----

<b>Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V.</b> RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SMALL-CAPACITY STATIC MIXERS FOR MIX- ING REAGENTS WITH WASTEWATER	51
--	----

<b>Petrov A.M., Popov A.N.</b> DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MATHEMATICAL MODELING OF THERMODY- NAMIC PROCESSES OF SINGLE-PHASE FLOWS OF EXTERNAL HEAT SUPPLY NET- WORKS	59
---	----

<b>Sperko L.N., Bekirov E.A.</b> INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL PARAMETERS OF THE IONISTOR ON THE CONCENTRATION AND TYPE OF AQUEOUS SOLUTIONS OF ELECTROLYTES	65
---	----

<b>Dontsova A.E., Olshevskiy V.Ya., Stolyarov O.N.</b> WATER INFILTRATION DETECTION OF CONCRETE STRUCTURES USING INTE- GRATED CARBON FIBER SENSORS	71
--	----

### **Section 4. Environmental safety**

<b>Uretskiy E. A., Nikolenko I.V., Moroz V.V.</b> RESEARCH AND IMPROVEMENT OF CLARIFIERS FOR WASTEWATER PRODUCTION OF PROTECTIVE COATINGS AND PRINTED CIRCUIT CARDS	81
---	----

<b>Tabunshchik V.A.</b> DENSITY OF RELIEF DISSECTION WITHIN LANDSCAPES OF THE CRIMEAN PENIN- SULA	93
---	----

<b>Skryabin A.Yu., Ivankova T.V.</b> ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRINKING WATER BY DISINFECTION WITH SO- DIUM HYPOCHLORITE (BASED ON THE EXAMPLE OF THE ALMA RIVER OF THE REPUBLIC OF CRIMEA)	107
--	-----

<b>Bunina L.N., Movchan S.I.</b> ALGORITHM AND METHOD OF BIOLOGICAL TESTING OF BUILDING MATERIALS, MADE FROM SLUDGE LIQUID WASTE	113
--	-----

<b>List of authors</b>	121
------------------------	-----

<b>Authors Guide</b>	122
----------------------	-----

## Раздел 1. Градостроительство

УДК 623.642.5

### ВОЕННО-ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ И КАРТЫ КРЫМА В 1819-1853 ГОДАХ

Панухин П.В.

Московский архитектурный институт (государственная академия),  
Россия, г. Москва, ул. Рождественка д. 11  
panuh@mail.ru

**Аннотация:** В статье анализируется деятельность Военно-топографической службы Российской империи на территории Крыма периода между Отечественной войной 1812 года и Восточной (Крымской) войной 1853-1856 годов. Подчеркивается роль инженер-генерала Ф.Ф.Шуберта в развитии и реформировании военно-топографической службы Российской империи. Автор также анализирует деятельность Гидрографического Черноморского Депо и его основателя Е.Манганари, создавшего Гидрографический Атлас Крыма (1841). Отмечается, что атласы, карты и генеральные планы населенных пунктов полуострова, созданные русскими военными топографами в первой половине XIX века, оказались чрезвычайно востребованными на оборонительных театрах военных действий в Крыму во время Восточной (Крымской) войны.

**Предмет исследования:** принципы построения карт и генеральных планов территорий полуострова Крым Военно-топографической службой Российской империи в первой половине 19 века.

**Материалы и методы** работы базируются на принципах топографического и историко-градостроительного анализа.

**Результаты:** впервые показана роль, раскрыты принципы и проанализированы методы составления карт и генеральных планов Военно-топографическим бюро Российской империи под руководством инженер-генерала Ф.Ф.Шуберта в 1819-1853 годах в период преддверия Восточной (Крымской) войны.

**Выводы:** Военно-топографическая служба Российской империи за время своей деятельности на территории Крымского полуострова в период с 1819 до 1853 года набрала огромный опыт и, кроме того, сформировала уникальную теоретическую, технологическую и практическую инструментальную систему съемки территорий. Также был накоплен опыт съемки разнорельефных местностей, обработки исходных материалов съемки, составления карт и генеральных планов, а также собран обширный портфель разномасштабных карт, которые пригодились впоследствии на театрах реальных военных действий, происходивших на Крымском полуострове в период Восточной (Крымской) войны.

**Ключевые слова:** Россия, Крым, военно-топографическая служба, картография, черноморский бассейн, гидрографическая служба, Ф.Шуберт, П.Кеппен, А.Бетев, А.Оберг, Е.Манганари, позиционирование пространства, Восточная (Крымская) война.

### ВВЕДЕНИЕ

Для Крымского полуострова исторически всегда было характерно чередование периодов мирного и военного позиционирования территорий. Мирная парадигма развития крымских пространств была обусловлена, как правило, интересом к полуострову с точки зрения торговой логистики. Выгодному расположению Крыма были обязаны своим возникновением античные торговые города Боспорского царства, генуэзские и венецианские крепости-фактории, турецкие работорговые порты. С утверждением России в Северном Причерноморье в конце XVIII встал вопрос о военном позиционировании полуострова с целью обороны южных морских границ империи. Для этого требовалась точная картографическая документация, которую с 1787 года стало производить Депо карт Е.И.В. (Его Императорского Величества). Война 1812 года замедлила процесс топографического позиционирования Крыма, так как весь штат Депо карт был задействован на театрах военных действий. В 1819 году после реорганизации Депо геодезические съемки крымских территорий возобновились и не

прекращались вплоть до начала Восточной войны. Настоящая статья анализирует работу военно-топографической службы Российской империи именно в этот мирный период между двумя войнами.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Тема работы военных топографов в Крыму межвоенного (1819-1853) времени освещена в отечественной научной литературе светского характера недостаточно. Исключение составляют труды самих военных топографов: в первую очередь начальника Депо карт Ф.Ф. Шуберта, изданные в 1827 году Главным штабом в Санкт-Петербурге под названием «Записки Военно-топографического депо», «Записки Гидрографического депо» и «Руководство для исчисления тригонометрической съёмки»; а также работы А.И. Хатова периода 1819-1830 годов, Б. Андреосси (1822), С.В. Красковского (1850-1867), Э.И. Тотлебена (1856-1870), К. Седергольма (1867-1887), Ф.Ф. Ласковского (1864-1887), Н.И. Болдырева (1864-1874). Из исследований советского периода, анализировавших военное позиционирование Крыма, преимущественно касающиеся

фортификационных сооружений и укрепленных линий, следует отметить труды К. Величко (1917-1939), В.Ф. Шперка (1930-1946), В.В. Яковлева (1927-1940), а также современные исследования о Крымском полуострове А.И. Айбабина, Ю.Л. Белика, И.В. Гаврилова, А.С. Ефимова, С.В. Крыщенко, А.А. Непомнящего, В.М. Стародубцева, О.В. Романько и других.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

К началу 1820-х годов военно-топографическая служба России имела 23-х летний опыт съёмки самых разнообразных территорий империи и владела передовыми методами изготовления картографической продукции. За это время Депо карт Его императорского величества выпустило более тридцати листов с изображениями Крымского полуострова. Среди них были карты, входившие в крупные общероссийские атласы и собрания, такие как Столистая и Милитерная карты К.И. Оппермана, а также самостоятельные отдельные изображения территории полуострова; например, карта Крыма генерал-майора С.А. Мухина.



**Рис. 1.** Гравированный портрет Ф.Ф. Шуберта, начальника Военно-топографического и Гидрографического Депо в 1822-1843 годах

**Fig. 1.** Engraved portrait of F.F. Schubert, chief of the Military Topographic and Hydrographic Depot in 1822-1843

В 1819 году руководителем 3-го отделения Военно-топографического депо Главного штаба становится Ф.Ф. Шуберт, (рис. 1) поднявший искусство российской картографии на новый уровень, намного превысивший уровень съёмки и изготовления карт в Западной Европе и Новом свете. В 1820 году он становится начальником триангуляции и топографической съёмки Санкт-Петербурга, в 1822 году разрабатывает Положение о новом Корпусе топографов и вскоре становится его первым директором, а затем и возглавляет Военно-топографическое депо Главного штаба. Одновременно он исполняет обязанности члена Совета Академии Главного штаба. Также в период с 1827 по 1837 год Ф.Ф. Шуберт являлся начальником Гидрографического депо Главного Морского штаба Его Императорского Величества государя Николая Павловича. Административное управление этими учреждениями он успешно совмещал с рядом прикладных обязанностей: организовал масштабные геодезические съёмки, руководил тригонометрическими и топографическими работами, учредил издание «Записки Военно-топографического депо», выходившее вплоть до начала 1930-х годов, и «Записки Гидрографического депо»; составил «Руководство для исчисления тригонометрической съёмки», которое служило основным пособием для топографов на протяжении нескольких десятилетий. Большое значение получили картографические труды Шуберта, особенно изданная им на 60 листах десятивёрстная специальная карта Западной части России, включающая также и карты Крыма, выполненные по калькам Мухина, Пядышева и Бетева-Оберга. В 1846 году Шуберта выбирают директором Военно-учёного комитета Главного штаба, которым он руководил до его упразднения в 1859 году. При столь большой занятости Ф.Ф. Шуберт не только четко и оперативно выполнял обязанности, но и вносил много нового в деятельность каждого учреждения, в котором ему довелось служить, поэтому его вклад в развитие отечественной военно-топографической науки был весьма значителен, а авторитет в учёном мире непрерываемо. Самой подробной картой, выполненной под руководством Ф.Ф. Шуберта, явилась вошедшая в Военно-топографический Атлас Генеральная карта Таврической губернии полковника В.П. Пядышева (рис 2).

В.П. Пядышев был одним из лучших составителей и гравёров Военно-топографического Бюро. За тридцать с лишним лет своей деятельности он выполнил свыше двухсот досок, многие из которых являются шедеврами гравировального искусства.

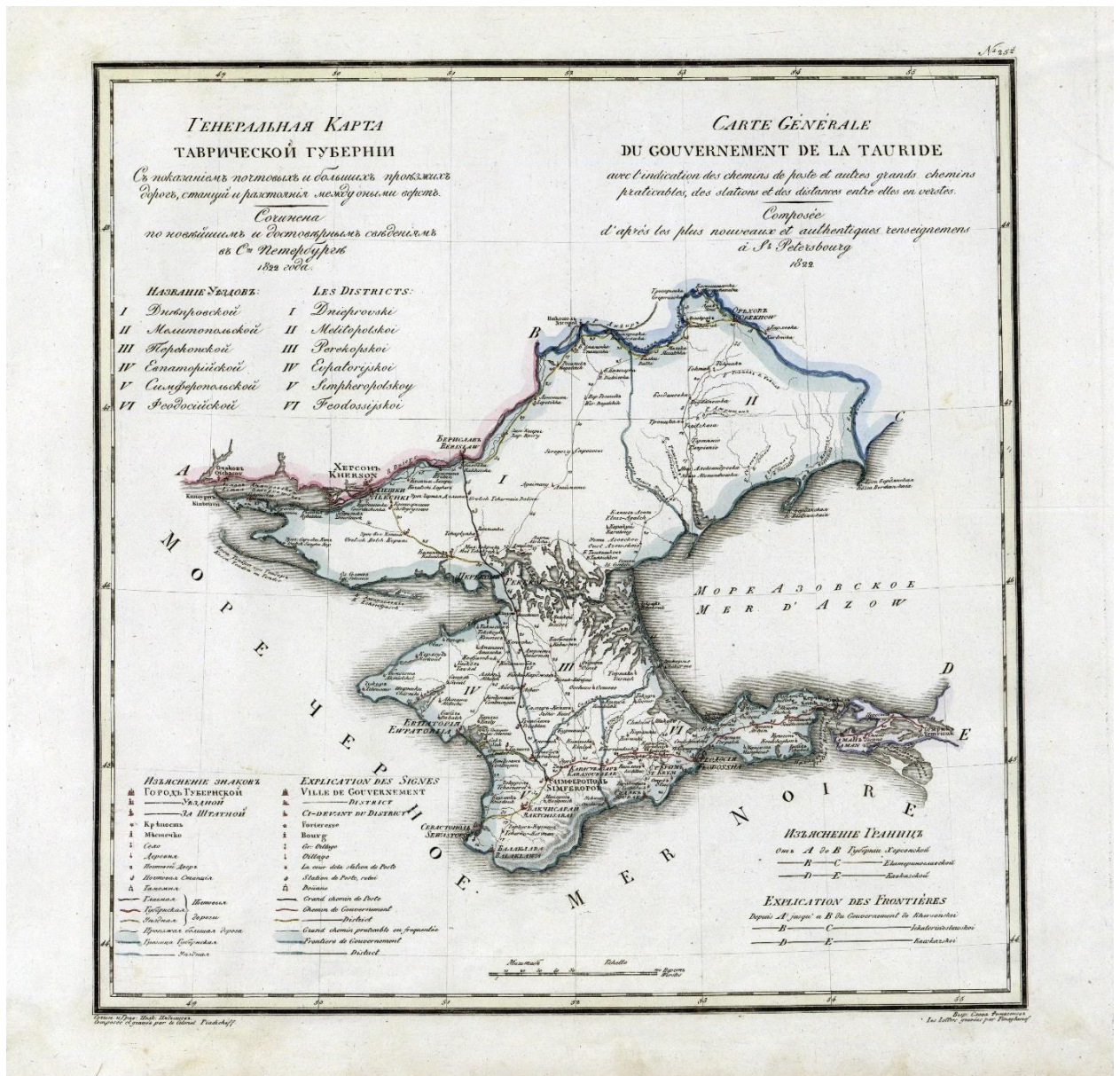


Рис. 2. Карта Тавриды 1822 года полковника В.П. Пядышева  
Fig. 2. Map of Taurida in 1822 by Colonel V.P. Pyadyshev

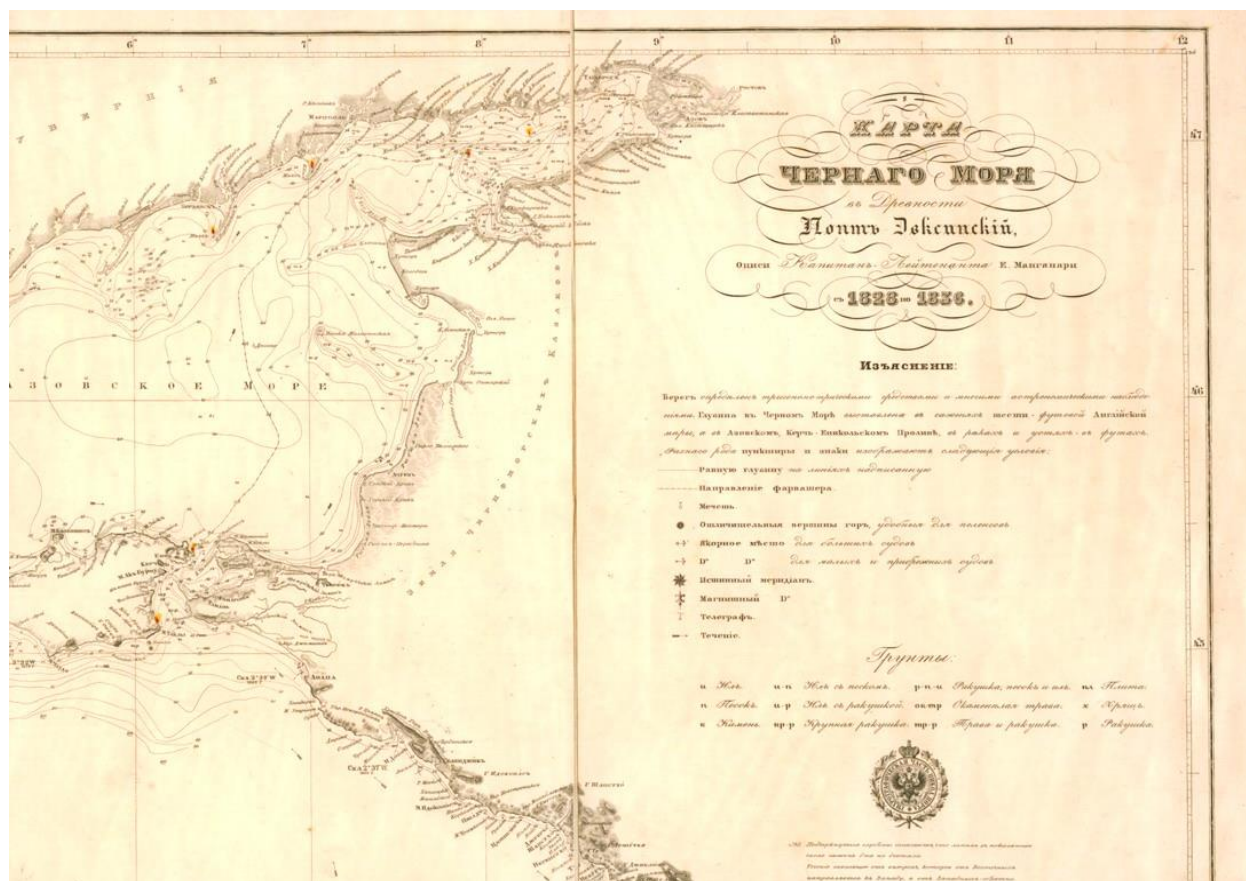
«Генеральная карта Таврической губернии» была начата в 1821 и пошла в печать в 1822 году. Лист являлся составной частью Географического Атласа Российской Империи 1820-1827 года и Военно-топографического Атласа 1822-1859 годов. Тексты титула, топонимика и изъяснения карты выполнены на русском и французском языках. Главным назначением карты был показ транспортной сети местности и расстояний между населенными пунктами, а отнюдь не военные цели, поэтому фортификационных сооружений на листе 1822 года нет. Они появились позже после пересъемки планов крепостей в 1830-1840-х годах. Немаловажное значение имела и тончайшая графика карты: рутинных военных съемок в начале двадцатых годов ввиду отсутствия боевых действий почти не проводилось, и больше внимания можно было уделить искусству графики и подробным условным обозначениям и изъяснениям. В 1830 году

В.П. Пядышев стал товарищем (заместителем) начальника Пятого Отделения Военно-Топографического Депо. Наиболее известные работы В.П. Пядышева: «Иллюстрированный Путеводитель по всей Российской Империи и Царству Польскому»; «Географический атлас Российской Империи» на 80 листах, изданный в 1827 году и переизданный в Париже в 1834 году как «Atlas géographique de l'Empire de Russie en 83 feuilles»; Серия гравюр «Фейерверка на Царицыном Лугу по случаю заключения мира между Россией и Турцией»; портрет княгини А. Куракиной; портрет Н.А. Татищева; «Клеопатра» – копия с гравюры Странжа с оригинала Гвидо-Рени; гравюры в книге Сумарокова «Досуги Крымского Судьи». При всем многообразии таланта Пядышева, все же главным его приложением было топографическое гравирование. Карта Пядышева стала очень важным документом, свидетельствующим о качественном

переломе в картографической манере изображения местности и настоящей революции в передаче объема пространства в плоской ортогональной проекции. В 1830-е годы появилось большое количество подражаний манере В.П. Пядышева. Так, в Британском Атласе «Россия в Европе», изданного Д. Болдуином и Г. Шейлоком в 1835 году, использовались кальки с его карты Таврической губернии 1822 года.

В отличие от Военно-топографического депо, которое занималось геодезическими работами на

суше, для гидрографической съемки в 1805 году был учрежден Государственный Адмиралтейский департамент, реорганизованный в 1827 году в Гидрографический департамент, который возглавил все тот же энергичный Ф.Ф. Шуберт. Но много ранее, еще в 1803 году было основано Черноморское депо карт, в котором была составлена «Карта части Черного моря от мыса Херсонеса до Тамани» (рис. 3), переизданная в 1836 году.



**Рис 3.** Гидрографическая «Карта Черного моря, в древности Понт Эвксинский» описи капитан-лейтенанта Е. Манганари с1828 по 1836»

**Fig. 3.** Hydrographic «Map of the Black Sea, in ancient times the Euxine Pont» inventory of lieutenant Commander E. Manganari from 1828 to 1836»

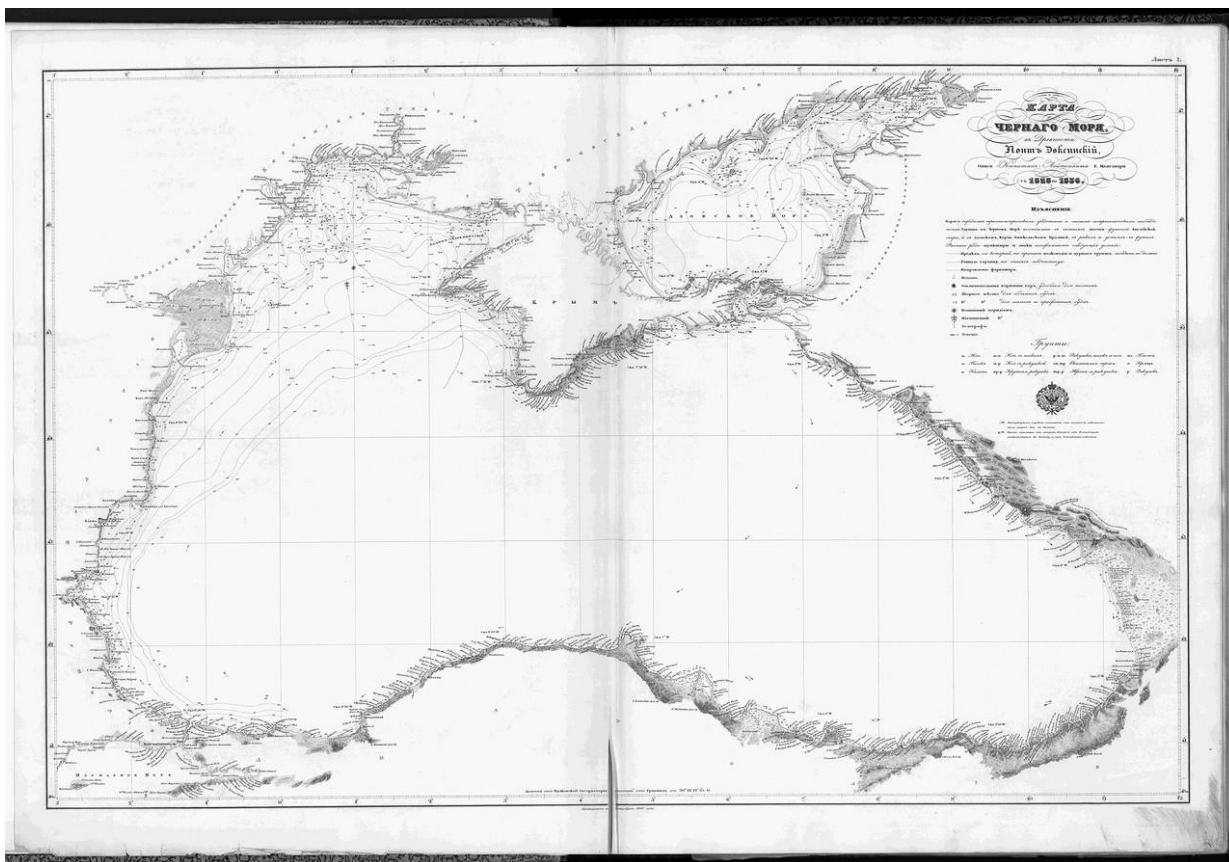
Для отличия друг от друга по принципу территориальных зон ответственности, все адмиралтейские депо носили собственные имена и имели отдельные символы, поэтому на титуле карты обозначена надпись: «Черноморское Гидрографическое депо» и его герб. Карта выполнялась в черно-белом варианте и традиционно состояла из отдельных листов, наклеенных на тканевую основу. Полное название: «Карта Черного моря, в древности Понт Эвксинский, описи Капитана-Лейтенанта Е. Манганари в 1826-1836. Гравировал М. Ефимов [5], масштаб 1:1315440. Исправлена и гравирована при Гидрографической части в Николаеве в 1861 г.» (рис. 4).

Вместо цифровой пропорции масштаба, которая не была обозначена на карте, использовалась масштабная линейка, более распространенная в гидрографии. Фактический масштаб карты составляет около 1:320000, размер рамки 61×92 см. На карте присутствует координатная сетка с шагом 10 минут, горизонтали прибрежных глубин, периметральная минутная рамочная шкала с отсчетом долготы от Пулковского меридиана.

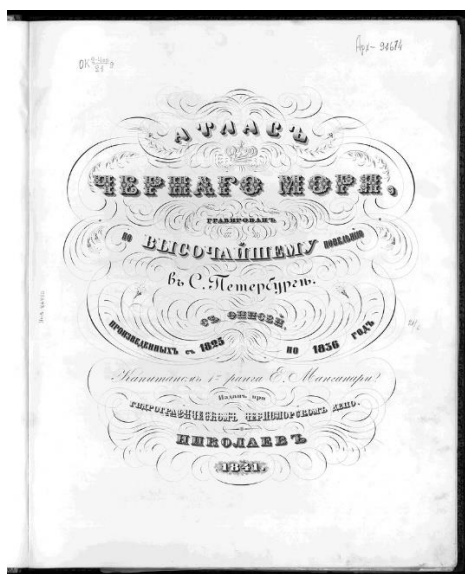
Триангуляционные съемки морской акватории и прибрежных черноморских территорий выполнялись Гидрографическим Депо в течение одиннадцати лет, начиная с 1825 года. Руководил работами капитан-лейтенант, впоследствии капитан первого ранга Е.П.Манганари. Через шесть лет по

окончании съемок, в 1841 году, в Николаеве, был издан Атлас Черного моря, (рис. 5) составленный на основании съемок экспедиции Манганари, полностью именуемый «Атлас Черного моря. Гравирован по Высочайшему повелению в Санкт-

Петербурге с описей, произведенных с 1825 по 1836 годы капитаном 1-го ранга Е.Манганари. Издан при Гидрографическом Черноморском Депо. Николаев. 1841.».



**Рис 4.** Атлас Манганари. Карта Черноморского бассейна,1841  
**Fig. 4.** The Manganari Atlas. Map of the Black Sea Basin, 1841



**Рис 5.** Титульный лист Атласа Е. Манганари. 1841.  
Титульный лист гидрографического Атласа Крыма  
Е. Манганари – Николаев, 1841  
**Fig. 5.** The title page of the Atlas by E. Manganari. 1841.  
Title page of the hydrographic Atlas of the Crimea  
E. Manganari – Nikolaev, 1841

На Атласе Манганари показаны: береговые линии, направление фарватеров, якорные места, глубины и течения. Приведены рисунки маяков и створных знаков с названиями и характеристикой. Е.П. Манганари с 1829 по 1841 год занимался описью Черного и Азовского морей, с 1849 по 1857 годы был директором черноморских и азовских маяков. Гидрографический Атлас Манганари был весьма востребован и иногда ему доверяли больше, чем устаревшим черноморским лотциям. Например, карта Атласа с промерами глубин Северной бухты Севастополя использовалась Нахимовым при затоплении судов русского флота в ходе Восточной (Крымской) войны 1853-1856 годов.

Девятнадцать лет спустя после появления «Военно-топографической карты... Мухина» была издана «Карта Южного Крыма Петра Кеппена» (1836) (рис. 6), которая по характеру рисунка топографических элементов местности представляла собою часть карты генерал-майора Мухина.



**Рис. 6.** Карта Крыма Петра Кеппена, 1836  
**Fig. 6.** Map of the Crimea by Peter Keppen, 1836

Полное название: «Карта Южного Крыма, изданная по распоряжению г-на Новороссийского и Бессарабского Генерал-губернатора, графа М.С. Воронцова. Издание входило в состав Крымского сборника Петра Кеппена, изданного в Санкт-Петербурге в 1836 году. Она включала в себя много новых элементов, преимущественно связанных с изменениями названий населенных пунктов. Выполнена карта Кеппена была в черно-белом жанре, в масштабе, аналогичном мухинскому, но в более крупноформатном варианте, и состояла из четырех листов размером 54×32 см. Карта имела сетку координат с ритмом в тридцать минут и нанесенными отметками через каждые 5 минут по периметру рамки в соответствии с отсчетом долготы от меридиана Ферро. Керченского полуострова на карте Кеппена нет, так как в конце тридцатых годов Военное ведомство графа АИ. Чернышева не придавала должного значения старой Керченской крепости и Павловской батарее, считая их мощь вполне достаточной. Методика составления карты, ее графическая стилистика и внешнее оформление примечательны тем обстоятельством, что представляли собой своеобразный универсальный вариант соединения «жанров» картографии и географии того времени ввиду того, что содержали признаки как общегеографических атласных карт, так и карт военно-топографического назначения.

Универсальность не имела успеха, и к концу тридцатых годов девятнадцатого века русские топографы перешли, в основном, на изготовление функциональных карт.

К 1840-м годам технология топографической съемки стала более совершенной, также появились и новые возможности печатной техники для изготовления карт и генеральных планов с большей степенью графического разрешения и детализации. В это время была издана гражданская карта Таврической Губернии, разделенная на 6 округов, а после административной реорганизации и карта Таврической области.

В военной топографии также происходили изменения. Силами российского Военно-топографического бюро была произведена новая триангуляционная съемка местностей, расположенных в южных областях империи. В результате в свет вышел крупный картографический документ – План Крымского полуострова полковников А.Бетева и А.Оберга, по существу носящий характер многостраничного атласа. Съемка «Плана...Бетева-Оберга...» происходила в период 1835-1839 годов. Впервые он был отпечатан в 1842 году в Санкт-Петербурге в типографии Военно-топографического депо, возглавляемого в тот период времени Ф.Ф. Шубертом. Переиздан в 1647 году (рис. 7).



**Рис 7.** Генеральная карта Крыма Бетева-Оберга. Военно-топографическое бюро, 1842 (переиздание 1847). Фрагмент  
**Fig. 7.** General map of Crimea by Betev-Oberg. Military Topographical Bureau, 1842 (reprinted 1847). Fragment

В Журнале Военно-топографического депо за 1847 год, имеется запись: «...часть № 10. Военная съёмка Крымского полуострова. Партикуляр за № 31. Съёмка Крымского полуострова, начатая в 1835 году под руководством Генерального штаба Полковника Бетева, была производима потом Корпуса Топографов Штабс-Капитаном Федоровым и топографами, состоящими при межевании, до совершенного окончания ее в 1839 году. Съёмка сия основана на координатах Крымской триангуляции». Все транспортные коммуникации, главные горные вершины, преобладающие высоты в городах и сельских населенных пунктах, русла рек, крупные балки и урочища были сняты инструментально, прочие мелкие детали местности обозначены глазомерным способом. Графическое изображение горных массивов выполнялось в характерной для всего XIX века штриховой манере по системе Лемана. Съёмка полуострова Крым на карте Бетева-

Оберга состоит из 87 частей и охватывает площадь, равную 23234 квадратным верстам. Титульная часть обозначена в правой верхней части плана, и поименована как «Топографическая карта полуострова Крыма, составлена в 1/210000 долю настоящей величины и гравирована при Военно-топографическом Депо со съёмок тригонометрической: Генерального Штаба Подполковника Оберга и топографической: Генерального Штаба Полковника Бетева. MDCCCXII» (1842). «Топографическая Карта полуострова Крыма...» насчитывает 8 отдельных листов и одну схему, на которой показана их компоновка. Листы наклеены на подоснову из ткани и имеют одинаковый размер – 54×44 см каждый. На карте присутствует масштабная таблица, заменяющая собой координатную сетку. В очертаниях Павловского мыса к югу от Керчи отчетливо различимы контуры артиллерийской

батареи. В фарватере между мысом Ак-Бурун и косой Тузла наблюдается остров, на котором обозначен рыболовецкий завод. На карте также обозначен вал, пересекающий Керченский полуостров по долготе Узунларского озера, именуемого как «Аксан-темир-Индек»; видны очертания Тиритакского валового укрепления близ Керчи. Карта выполнена в монохромной цветовой гамме, экземпляры 1842 года гравированы в черной колеровке. Её общий графический стиль соответствует типичной многолетней манере изображения большинства карт военно-топографического депо Ф.Ф. Шуберта. Впоследствии карта неоднократно переиздавалась с незначительными изменениями в её названии и внешнем оформлении. Так, например, улучшенная карта Бетева-Оберга вышла в 1847 году. В первую очередь претерпела изменения легенда карты. Она включала в себя новые поселки, измененные по сравнению с 1842 годом названия населенных пунктов, их условные обозначения и экспликацию, а также карту Черноморской кордонной линии (1847). Появление новых поселков и трансформация топонимики карты были связаны с бурным демографическим ростом населения Крымского полуострова в середине сороковых годов девятнадцатого века и рядом льгот, которые были предоставлены военным ветеранам кавказской, польской и балканских кампаний 1829-1831 годов с целью привлечь лояльное имперской политике население на постоянное местожительство в Крым. Начертания границ и пропорции самого полуострова на карте 1847 года более приближены к очертаниям на современных картах. Военный характер карты и ее пограничная специфика были подчеркнуты рядом графических знаковых элементов, корреспондированных с прежнего плана Бетева-Оберга. Так, картуш карты, расположенный в левом верхнем углу, претерпел незначительные изменения в силу того, что был отпечатан с перегравированных досок 1842 года; его рисунок остался прежним, но были удалены некоторые декоративные элементы, а также фамилии авторов, название и год издания. «Генеральная карта полуострова Крыма, составленная и гравированная в Военно-топографическом депо» 1847 года атрибутируется как последняя крупная карта предвоенного времени. Мирное позиционирование Крыма завершилось именно этой картой. Дальнейшее развитие военной топографии в Крыму происходило уже в практической плоскости на театрах Восточной (Крымской) войны 1853-1856 годов.

## ВЫВОДЫ

1. Военно-топографическая служба Российской империи в период с 1819 по 1893 год набрала огромный опыт, который позволил создать новую системную методику и теорию военной топографии, а

также адаптировать её в технологическом и практическом инструментальном отношении для натурной съёмки территорий.

2. Значительным результатом работы Военно-инженерной службы Российской империи в 1819-1853 годах, стало формирование портфеля карт, которые пригодились впоследствии на театрах реальных военных действий Восточной войны (1853-1856), развязанной антироссийской коалицией на Крымском полуострове.

3. В 1847 году был достигнут новый базовый уровень в позиционировании территории Крыма: силами российского Военно-топографического бюро была произведена новая триангуляционная съёмка местностей, расположенных в южных областях империи. В результате в свет вышел крупный картографический документ – План Крымского полуострова полковников А. Бетева и А. Оберга, по существу носящий характер многостраничного атласа, значительно повлиявший на всё последующее позиционирование Крыма вплоть до начала XX столетия.

4. В результате проведенного исследования творчества Ф.Ф.Шуберта на посту начальника Военно-топографической службы была выявлена его ключевая роль во внедрении новых триангуляционных технологий и в проведении новых масштабных геодезических съёмок, позволивших создать более точные, чем ранее, карты и планы Крымского полуострова.

5. Выявлена ведущая роль Ф.Ф. Шуберта в педагогической и издательско-просветительской сферах, связанная с учреждением и изданием научных сборников «Записки Военно-топографического депо», «Записки Гидрографического депо» и «Руководство для исчисления тригонометрической съёмки», которые выходили вплоть до начала 1930-х годов и служили учебными пособиями для нескольких поколений военных топографов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф.Ф. Записки Военно- топографического депо. – Санкт-Петербург: Типография Главного Штаба, 1827.
2. Панухин П.В. Пространство и время на картах Крыма. – М.: Архитектура-С, 2020.
3. Атлас, заключающий в себе пять планов и карт к сим походам принадлежащим и сочиненных с великим тщанием г. генерал-майором Хатовым по съёмкам, сделанным офицерами Главного штаба, посланным для сей цели на места битв и походов. – Санкт-Петербург: Типография Главного Штаба, 1819.
4. Общие рассуждения о Физической географии графа Андреосси. Перевод с французского А.И. Хатова. – Санкт-Петербург: Типография Главного Штаба, 1822.
5. Красковский С.В. Военно-топографическая карта Крыма Бетева-Оберга. – Санкт-Петербург: Типография Главного Штаба, 1867.
6. Карта части северного берега Черного моря

от мыса Херсонеса до Тамани, описи Капитан-Лейтенанта Е. Манганари. – Черноморское Гидрографическое депо, 1836.

7. Кеппен П.И. Крымский сборник: О древностях Южного берега Крыма и горь Таврических – Санкт-Петербург: Изд. Императорской Академии Наук, 1837.

8. Карта Южного Крыма, принадлежащая к Крымскому сборнику Петра Кеппена. Издана по распоряжению г-на Новороссийского и Бессарабского Генерал-губернатора, графа М.С. Воронцова. – Санкт-Петербург, 1837.

## REFERENCE

1. Shubert F.F. (1827) Notes of the Military Topographical Depot – St. Petersburg: Printing house of the General Staff. (in Russ.)

2. Panukhin P.V. (2020) Space and time on maps of the Crimea – Moscow: Architecture-C. (in Russ.)

3. Khatov A.I. (1819) Atlas containing five plans and maps for these campaigns belonging to and composed with great care G. Major-General Khatov accord-

ing to the photographs taken by the officers of the General Staff, sent for this purpose to the places of battles and campaigns. – St. Petersburg: Printing House Of The General Staff. (in Russ.)

4. Khatov A.I. (1822) General considerations on the Physical geography of Count Andreossi. Translated from the French by A.I.Khatova. – St. Petersburg: Printing house of the General Staff. (in Russ.)

5. Kraskovsky S.V. (1867) Military topographic map of the Crimea Beteva-Oberga. – St. Petersburg, printing house of the General Staff. (in Russ.)

6. Manganari E. (1836) Map of the northern coast of the Black Sea from Cape Chersonese to Taman, inventory of Lieutenant Commander E. Manganari: The Black Sea Hydrographic Depot. (in Russ.)

7. Köppen P.I. (1837) Crimean Collection: About the Antiquities of the Southern Coast of Crimea and the Tauride Mountains. – St. Petersburg: Publishing House of the Imperial Academy of Sciences. (in Russ.)

8. Map of the Southern Crimea (1837) belonging to the Crimean collection of Peter Köppen. Published by order of Mr. Novorossiysk and Bessarabian Governor-General, Count M.S. Vorontsov. – St. Petersburg. (in Russ.)

## MILITARY TOPOGRAPHIC DEPOT OF THE RUSSIAN EMPIRE AND MAPS OF THE CRIMEA IN 1819-1853

Polukhin P.V.

Moscow Architectural Institute (state academy)  
Russia, Moscow, Rozhdestvenka str., 11  
panuh@mail.ru

**Abstract.** The article analyzes the activities of the Military Topographical Service of the Russian Empire on the territory of Crimea in the period between the Patriotic War of 1812 and the Eastern (Crimean) War of 1853-1856. The role of engineer-general F.F. Schubert in the development and reform of the military topographic service of the Russian Empire is emphasized. The author also analyzes the activities of the Hydrographic Black Sea Depot and its founder E. Manganari, who created the Hydrographic Atlas of Crimea (1841). It is noted that atlases, maps and master plans of the settlements of the peninsula, created by Russian military topographers in the first half of the 19th century, were extremely in demand in the defensive theaters of military operations in the Crimea during the Eastern (Crimean) War.

**Subject of study:** the principles of constructing maps and master plans for the territories of the Crimean Peninsula by the Military Topographical Service of the Russian Empire in the first half of the 19th century.

**Materials and methods** of work are based on the principles of topographic and historical-urban planning analysis.

**Results:** the role is shown for the first time, the principles are revealed and the methods of drawing up maps and master plans by the Military Topographic Bureau of the Russian Empire under the leadership of engineer-general F.F. Schubert in 1819-1853 on the eve of the Eastern (Crimean) war are analyzed.

**Conclusions:** The military topographic service of the Russian Empire during its activity on the territory. Crimean Peninsula in the period from 1819 to 1853 has gained vast experience and, in addition, formed a unique theoretical, technological and practical instrumental system for surveying territories. Also, experience was gained in surveying terrains of different relief, processing the source materials for surveying, compiling maps and master plans, and also collecting an extensive portfolio of maps of different scales, which later came in handy in the theaters of real military operations that took place on the Crimean Peninsula during the Eastern (Crimean) War.

**Key words:** Russia, Crimea, military topographic service, cartography, Black Sea basin, hydrographic service, F. Schubert, P. Köppen, A. Betev, A. Oberg, E. Manganari, space positioning, Eastern (Crimean) War.



## Раздел 2. Строительство

УДК 699.841:69.032.22

### ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ВЫСОКОТОЧНОГО МОНТАЖА КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГРАЖДАНСКИХ ОБЪЕКТОВ

Шаленный<sup>1</sup> В.Т., Семенов<sup>2</sup> С.Ю., Иваненко Н.А.

<sup>1</sup>Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского, институт «Академия строительства и архитектуры»  
295943, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,

<sup>2</sup>Сочинский государственный университет, инженерно-экологический факультет  
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Политехническая, 7  
e-mail: <sup>1</sup>v\_shalennyj@mail.ru, <sup>2</sup>smu5sochi@mail.ru, <sup>3</sup>inform-sochi11@yandex.ru

**Аннотация.** Детализируется, выбранная в качестве перспективной, система сейсмической изоляции кинематического типа, предложенные в Советском Союзе д.т.н. Черепинским Ю.Д. (Казахстан) и Курзановым А.М. (Россия). Совершенствование изоляции заключается в повышении точности монтажа трубобетонных колонн на монолитном железобетонном фундаменте. Для чего предложен новый способ установки и выверки нижней закладной детали и приборное инструментальное оснащение этого процесса. Рекомендованы геодезические приборы и инструменты технологического оснащения процесса монтажа и выверки, производимые в Российской Федерации и позволяющие таким образом отказаться от импортных. Представлены технологические схемы и пооперационные графики производства работ, которые могут стать основой технологического регламента устройства отечественных инновационных систем сейсмической изоляции сборно-монолитных каркасов преимущественно гражданских зданий.

**Предмет исследования:** технологическое оснащение входного, пооперационного и приемочного контроля качества устройства кинематических систем сейсмоизоляции сборно-монолитных каркасов гражданских из трубобетонных колонн запатентованной авторами конструкции и технологии их производства.

**Материалы и методы:** анализ состояния вопроса с обоснованием и детализацией сущности предложенной технологии, формирование структуры технологических операций по устройству кинематической сейсмоизолирующей системы из трубобетонных колонн и перекрытий нулевого цикла, а также сбор и обработка технических данных по возможным к применению геодезических приборов и инструментов для обеспечения входного, приемочного и пооперационного контроля качества выполняемых работ с выбором комплекта рекомендуемых. При этом учитывались требования технологии, экономики и импортозамещения.

**Результаты:** Технологические схемы производства работ по устройству элементов кинематической системы сейсмической изоляции из трубобетонных опор подвальной части гражданского здания с применением геодезических приборов и инструментов. Рекомендации по выбору целесообразного технологического оснащения указанных операций с учетом требований точности измерений, экономики и импортозамещения.

**Выводы:** Обосновано предложены технологические схемы и пооперационные графики производства работ, которые могут стать основой технологического регламента устройства отечественных инновационных систем сейсмической изоляции сборно-монолитных каркасов преимущественно гражданских зданий. В качестве геодезического приборного оснащения рекомендуются измерительный алюминиевый уровень «Вихрь», оптические нивелиры RGK C-32 или Elitech Oh 36 с оптическим визиром, а также лазерный построитель плоскостей RGK PR-81G или лазерный уровень Мастер Алмаз LZ 800R.

**Ключевые слова:** кинематические системы сейсмоизоляции, геодезический контроль монтажа.

### ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве актуальным остается обеспечение надёжности проектируемых зданий и сооружений в сейсмоопасных районах, к которым относится и территория Республики Крым. Не менее важной остается и проблема ресурсоемкости сейсмостойкого строительства. А в нынешних не простых условиях продолжающегося санкционного давления на российскую экономику, важными становятся и вопросы замены технологий, материалов, приборов и оборудования зарубежного происхождения на аналогичные отечественные, желательно с лучшими технико-экономическими параметрами. Следовательно, развитие и внедрение усовершенствованной отечественной конструктивно-технологической системы сейсмической изоляции сборно-монолитных

каркасов многоэтажных гражданских зданий до настоящего времени представляется актуальной научно-прикладной задачей.

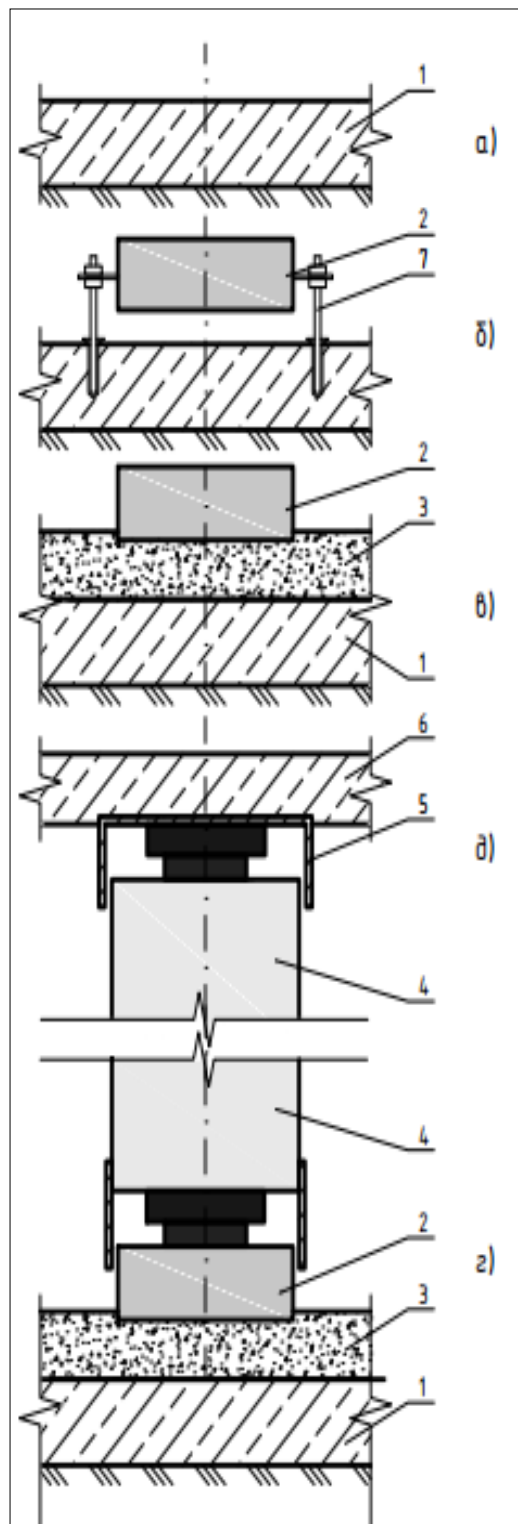
### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ состояния вопроса, обоснование целесообразности развития и принципиальная сущность усовершенствованной конструкции сейсмоизолирующих трубобетонных колонн гравитационного типа концентрировано изложены в наших предыдущей статье [1] и патенте РФ на изобретение «Кинематическая трубобетонная сейсмоизолирующая опора на монолитном железобетонном фундаменте» [2].

Далее необходимо было разработать детальную пооперационную технологию и организацию работ по ранее предложенным принципиальным решениям в виде карт трудового процесса устройства отдельных конструкций цокольного этажа на примере конкретного объекта - четырнадцатизэтажного туристического офиса центра и общежития квартирного типа в пос. Хоста города Сочи. При этом учитывался производственный опыт проектирования и возведения подобных объектов научно-проектно-производственной фирмой СМУ №5 г. Сочи в Краснодарском крае и Чеченской Республике, а также собранные данные по техническим характеристикам и стоимости возможных к использованию геодезических приборов и инструментов. Такое технологическое оснащение необходимо для производства контрольно-измерительных операций входного, пооперационного и приемочного контроля качества производства работ по устройству конструкций цокольного этажа указанного объекта, где запроектирован и устроен автопаркинг. Работы выполнялись с участием магистров Никиты Воронцова [3], Исмаила Арифова [4] и Вячеслава Жаринова [2, 5].

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

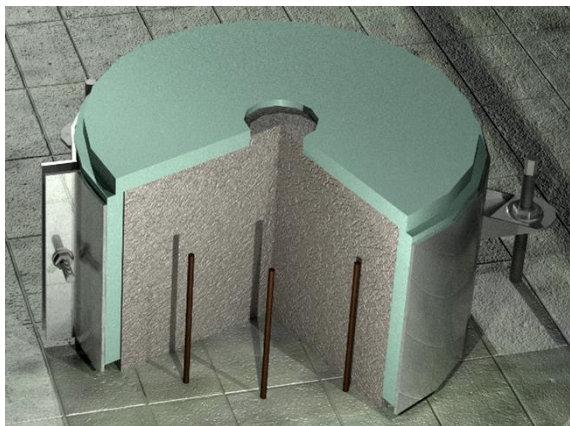
Последовательность устройства сейсмоизолирующей опоры кинематического принципа действия поясняется технологической схемой на Рис. 1. Бетонирование сплошной фундаментной плиты предполагается выполнять в два этапа: основного массива из менее прочного железобетона (Рис.1, этап а) и устройство высокопрочного верхнего слоя из безусадочного фибробетона, одновременно заполняющего и внутреннее пространство выверенных закладных деталей будущего шарнирного узла трубобетонных колонн (Рис.1, этап в).



**Рис. 1.** Этапы производства работ нулевого цикла с монтажом кинематических трубобетонных сейсмоизолирующих колонн: а) – устройство котлована и нижней части монолитной фундаментной плиты; б) – установка, выверка и временное закрепление нижней закладной детали колонны; в) – устройство высокопрочной безусадочной подливки фундамента; г) – без выверочный монтаж трубобетонных колонн; д) – установка верхней закладной детали и бетонирование перекрытия подвальной части здания: 1 – фундаментная плита в котловане; 2 – нижняя закладная деталь трубобетонной колонны; 3 – подливка; 4 – верхняя закладная деталь колонны; 5 – монолитное железобетонное перекрытие цокольного этажа; 6 – элементы устройства для установки, выверки и временного закрепления закладной детали 2

**Fig. 1.** Stages of the production of works of a zero cycle with the installation of TCC kinematic seismic isolation of columns: a) the device of the trench and the bottom of a monolithic Foundation slab; б) the installation, alignment and temporary mortgaged attaching the lower parts of the column; в) device high strength non-shrink grout Foundation; б) – bezvorotny installation of tube-confined concrete columns; д) the installation of the top mortgaged details and concrete ceiling basement area: 1 – base plate in the pit; 2 – lower mortgaged detail composite columns; 3 – grout; 4 – top mortgaged item column; 5 – reinforced concrete of the basement floor; 6 – elements of the device for installation, alignment and temporary securing the fixture 2

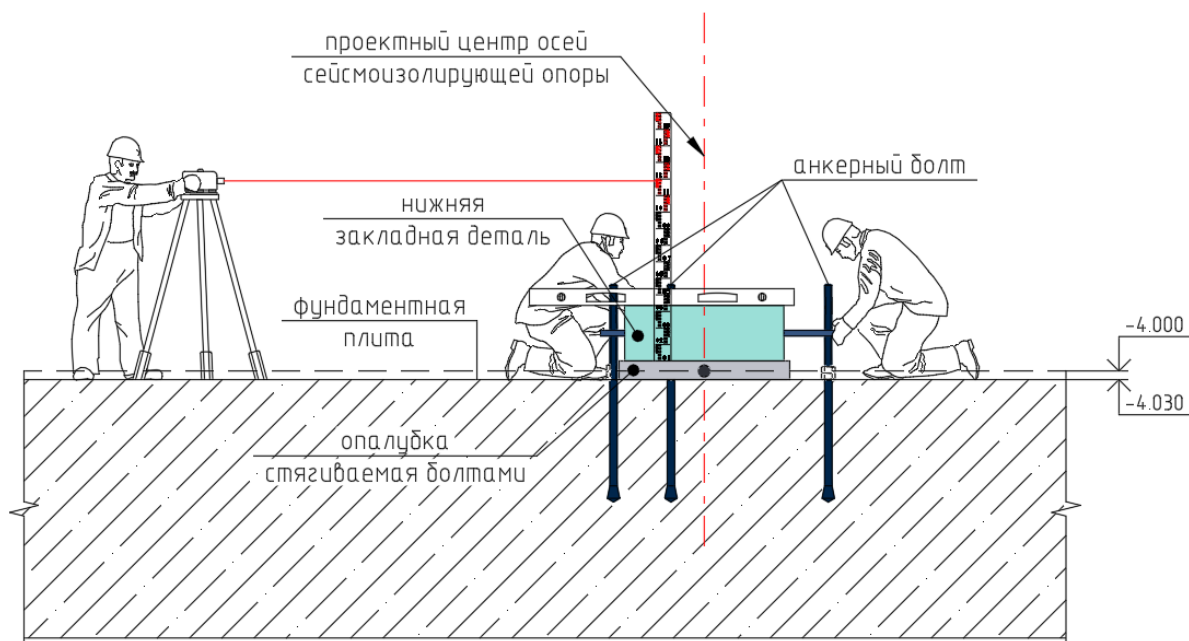
Но, еще до устройства подливки из фибробетона, необходимо произвести монтаж и выверку нижней стальной закладной детали, возможная конструкция которой показана на Рис. 2, а технология производства ее монтажа с выверкой поясняется Рис. 3.



**Рис.2.** Схема конструкции нижней закладной детали с опалубкой из листовой стали, заполненной фибробетоном  
**Fig.2.** Design diagram of the lower embedded part with a formwork made of sheet steel filled with fibro concrete

Такая возможная сварная конструкция нижней закладной детали из трубы с крышкой на верхнем ее торце перед монтажом снабжается опалубкой из листовой оцинкованной стали в виде хомута, стягиваемого резьбовым соединением. На этом же хомуте размещаются три радиально приваренных проушины, в отверстия которых вставляют шпильки анкерного крепления к фундаменту. Эти анкерные болты могут быть забетонированы заблаговременно в процессе бетонирования фундамента или для их устройства сверлят отверстия в уже затвердевшем бетоне фундамента. В последнем случае, анкерные устройства, как и опалубка, могут использоваться многократно.

Перед установкой опалубки с проушинами под анкерные болты на последние навинчивают нижние регулировочные гайки, на них одевают проушины с уже зафиксированной в опалубке закладной деталью будущей сейсмоизолирующей трубобетонной колонны. Зафиксировав опалубку на закладной детали стягиванием хомута, приступают к выверке положения подвешенной на анкерных болтах стальной закладной детали. Этот процесс поясняется упомянутой технологической схемой на Рис. 3.



**Рис. 3.** Технологическая схема операций временного закрепления и выверки стальной закладной детали будущей сейсмоизолирующей колонны

**Fig. 3.** Technological scheme of operations of temporary fixing and reconciliation of the steel embedded part of the future seismic insulating colum

Как видно из Рис. 3, исполнителям необходимо следующее приборное геодезическое обеспечение: оптический или пузырьковый уровень для проверки горизонтальности поверхности закладной детали и нивелир с рейкой для контроля ее проектной отметки. Выбор рациональных приборов производился на основе сбора и анализа данных из интернета по техническим (принцип действия, точность

измерений, размеры, вес и др.) дальность и экономическим (отпускная цена на рынке РФ) параметрам.

Полученные результаты представлены далее в графическом и табличном виде. Так, для примера, на Рис. 4 показаны гистограммы технических параметров длины и веса, а также стоимости уровня, представленных в начале 2022 г. на строительном рынке РФ.

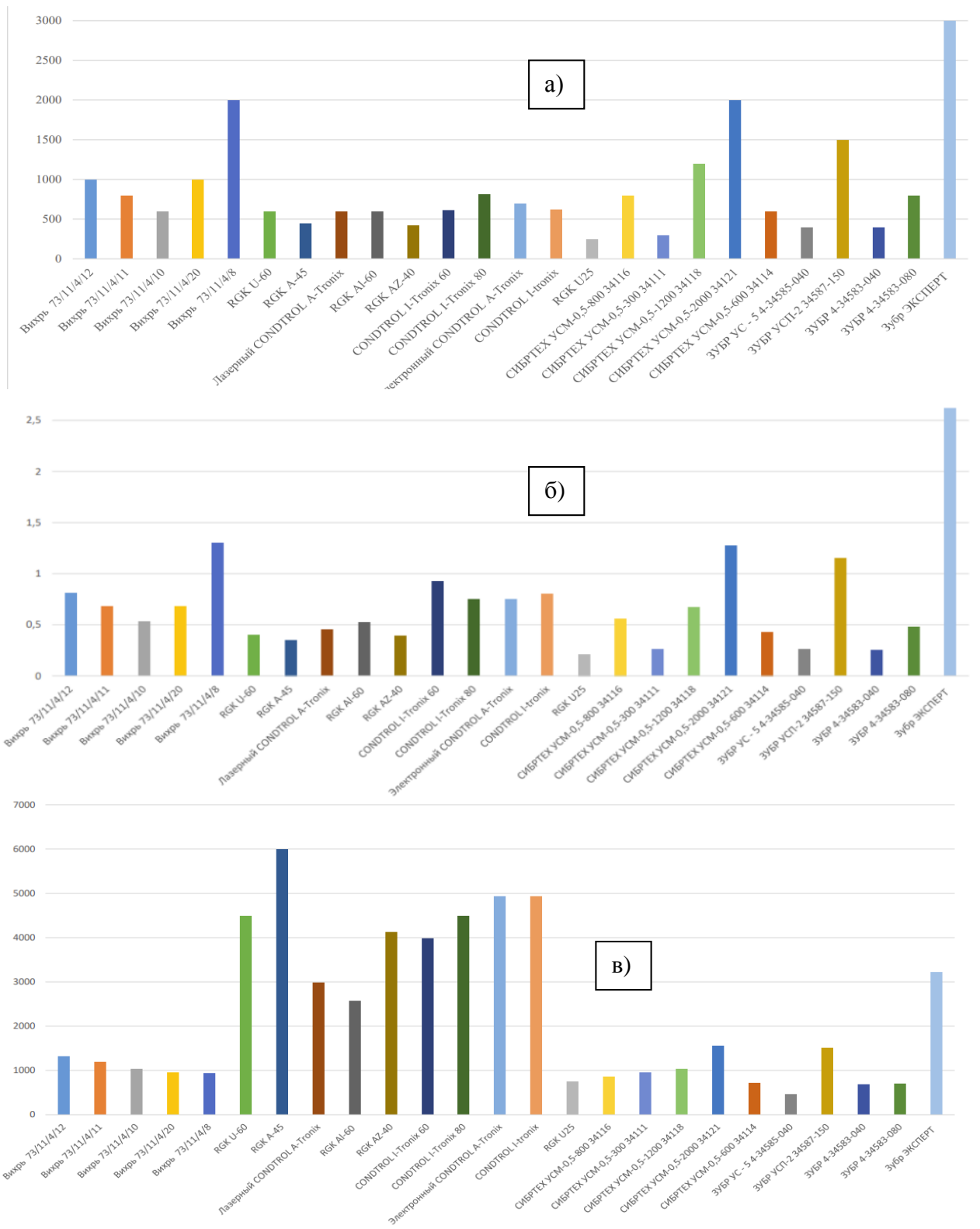


Рис. 4. Выборки по длине (а) в мм, весу (б) в кг и стоимости (в) в рублях горизонтальных уровней, представленных на строительном рынке РФ

Fig. 4. Samples by length (a) in mm, weight (b) in kg and cost (c) in rubles of horizontal levels presented on the construction market of the Russian Federation

**Пузырьковые уровни** получили наибольшее распространение благодаря своей простоте, доступности и универсальности. Чувствительным элементом у них является пузырек воздуха, плавающий в ампуле. Погрешность измерений данных устройств составляет  $0,5 \pm 1$  мм/м. Отечественные модели производятся согласно ГОСТ 9416-83, где описаны технические условия на их изготовление. Корпус инструмента представляет собой полую коробчатую конструкцию с ребрами жесткости. Он может иметь длину от 30 см до нескольких метров. Для уменьшения массы прибор изготавливают из алюминиевых сплавов. Ампулы с воздухом закрывают защитным стеклом. У основания корпуса, как правило, имеется миллиметровая шкала измерений.






**Электронные уровни** с угломером относятся к профессиональному измерительному инструменту. Они имеют несколько пузырьковых камер для оценки вертикальности и горизонтальности строительных конструкций. В отличие от обычных уровней, такие приборы обладают рядом дополнительных возможностей. Одной из главных особенностей является цифровой дисплей, на котором наглядно отображается величина отклонения в градусах. При этом точность

предоставляемых данных высока – до  $0,1^{\circ}$ . Имеется возможность записи измеренных уклонов. Предусмотрена звуковая индикация, которая сигнализирует о достижении  $0^{\circ}$  и  $90^{\circ}$ .

Проверка точности электронного уровня проста и не занимает много времени. Для этого нужно положить прибор на плоскую поверхность, снять показания. Повернув уровень на  $180$  градусов, посмотреть новые значения. Если разность показаний более  $0,2^{\circ}$ , необходима калибровка устройства. Для работы с металлоконструкциями прекрасно подойдут магнитные пузырьковые и электронные уровни российского производства, отличительной особенностью которых является наличие встроенных магнитов, которые позволяют закреплять инструмент вертикально на металлических деталях.

С учетом представленного анализа доступной информации, рекомендуемые нами для применения в предлагаемой технологической схеме монтажа нижней стальной закладной детали трубобетонной колонны (Рис. 3) разновидности уровней сведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Рекомендуемые модели и технико-экономические показатели измерительных уровней  
**Table 1.** Recommended models and technical and economic indicators of measuring levels

Наименование, характеристика и марка прибора	Источник информации (сайт)	Внешний вид	Длина, мм	Вес, кг	Цена, руб.
«Вихрь», уровень алюминиевый усиленный, коробчатый корпус	<a href="https://www.vseinstrumenti.ru/ruchnoy-instrument/izmeritelnyj/urovni-stroitelnye/puzyrkovye/vihr/1000-mm-3-glazka-1-zerkalnyj">https://www.vseinstrumenti.ru/ruchnoy-instrument/izmeritelnyj/urovni-stroitelnye/puzyrkovye/vihr/1000-mm-3-glazka-1-zerkalnyj</a>		800	0,68	1199
Цифровой уклономер RGK U-60	<a href="https://www.rgk-tools.com/ru/catalog/aksesuary/tsifrovoy-uklonomer-rgk-u-60/">https://www.rgk-tools.com/ru/catalog/aksesuary/tsifrovoy-uklonomer-rgk-u-60/</a>		600	0,4	4490
Лазерный угломер CONDTRON L A-Tronix	<a href="https://www.geooptic.ru/static/files/condtrol-a-tronix-instrukcia.pdf">https://www.geooptic.ru/static/files/condtrol-a-tronix-instrukcia.pdf</a>		610	0,92	2990
СИБРТЕХ УСМ-0,5-800 34116 - фрезерованный магнитный уровень	<a href="https://www.vseinstrumenti.ru/ruchnoy-instrument/izmeritelnyj/urovni-stroitelnye/puzyrkovye/sibrteh/alyuminiyevyj-frezerovannyj-uroven-3-glazka-magnitnyj-rukoyatki-800-mm-sibrteh-usm-0-5-800-34116/">https://www.vseinstrumenti.ru/ruchnoy-instrument/izmeritelnyj/urovni-stroitelnye/puzyrkovye/sibrteh/alyuminiyevyj-frezerovannyj-uroven-3-glazka-magnitnyj-rukoyatki-800-mm-sibrteh-usm-0-5-800-34116/</a>		800	0,56	859
Уровень ЗУБР 4-34583-080	<a href="https://www.vseinstrumenti.ru/ruchnoy-instrument/izmeritelnyj/urovni-stroitelnye/puzyrkovye/zubr/uroven-zubr-4-34583-040/">https://www.vseinstrumenti.ru/ruchnoy-instrument/izmeritelnyj/urovni-stroitelnye/puzyrkovye/zubr/uroven-zubr-4-34583-040/</a>		800	0,48	699

Контроль выноса высотных отметок предполагается осуществлять при помощи нивелирной рейки и оптических нивелиров или лазерных нивелиров-уровней. **Лазерные строительные уровни** (нивелиры) относятся к группе профессиональных измерительных инструментов. Несмотря на достаточно высокую стоимость по сравнению с ранее представленными решениями, они предоставляют целый ряд преимуществ. Прежде всего, это высокая точность разметки. Величина допускаемого отклонения составляет всего  $0,1 \div 1$  мм/м в зависимости от класса прибора. Технические возможности линейных лазерных уровней позволяет им строить горизонтальные, вертикальные, а также наклонные плоскости на расстоянии до нескольких десятков метров от места установки. Ротационные лазерные уровни, благодаря вращению излучателя, проецируют лучи по всему периметру объекта, то есть охватывают всё пространство вокруг себя.

**Оптические или призмные нивелиры** являются одними из наиболее популярных. Они представляют собой прибор, который состоит из основного блока и подставки (триггера). При выполнении замеров все действия осуществляются вручную: фиксирование положения, выравнивание, настраивание фокуса окуляра, регулировка положения зрительной трубы. Установив и настроив аппарат, можно приступать непосредственно к замеру. Пользоваться оптическим нивелиром очень просто. Но для этого потребуется как минимум два человека, поскольку первый фиксирует специальную рейку с нанесенной на нее шкалой деления ценой 10 мм, тогда как его партнер производит все необходимые замеры, параллельно записывая нужные сведения.

Проведенный аналогичный анализ технических возможностей и стоимостных показателей из доступных источников системы интернет позволил сформировать комплекты рекомендуемых для применения в предлагаемой технологии устройства кинематических сейсмостойких трубобетонных колонн (табл. 2 и 3).

Из полученных данных видно, что представленные традиционные уровни не годятся для обеспечения повышенной точности монтажа нижней закладной детали кинематических трубобетонных опор сейсмозащиты, а следует использовать оптические нивелиры и лазерные уровни высокой точности. К таким следует отнести:

✓ RGK C-32 с оптическим визиром, цена 20 755 руб. Среднеквадратичная погрешность – 1,5 мм, увеличение  $\times 32$ . Диапазон нивелирования - 15 мин. Минимальный участок измерения - 0,2 м.

✓ Elitech Oh 36 с оптическим визиром. Цена 17720 руб. Среднеквадратичная погрешность – 1,5 мм. Увеличение –  $\times 36$ . Диапазон нивелирования – 15 мин. Минимальный участок измерения 0,6 м;

✓ Лазерный построитель плоскостей RGK PR-81G. Цена 11 400 руб. Точность – 0,2 мм/м. Дальность без приемника – 40 м. Угол самовыравнивания – 4 град;

✓ Лазерный уровень Мастер Алмаз LZ 800R Цена 13722 руб. Точность – 0,2 мм/м. Дальность без приемника – 40 м. Угол самовыравнивания – 3 град.

Пооперационный график осуществления процесса устройства нижней закладной детали колонны представлен в форме табл. 4. Затем приступают к установке и выверке самой трубобетонной колонны, схема осуществления этого процесса показана на Рис. 5.

Контроль допустимых отклонений от вертикали смонтированной трубобетонной колонны в пределах до рекомендованных табл. 4.9 СП 70.13330.2012 — «Несущие и ограждающие конструкции» Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87, как для металлических колонн - не более 10 мм, первоначально при пооперационном контроле, может быть осуществлен при помощи вертикальной рейки-уровня, как показано на Рис. 5. Допустимые отклонения отметок опорных поверхностей колонны и опор от проектных -  $\pm 5$  мм и разность отметок опорных поверхностей соседних колонн и опор по ряду и в пролете -  $\pm 3$  мм, смещение осей колонн относительно разбивочных осей в опорном сечении -  $\pm 5$  мм.

Затем предполагается уже без выверочный монтаж верхней закладной детали кинематической системы сейсмоизоляции перекрытия подвального этажа, как показано на Рис. 6 и 7. Календарный график производства железобетонных и трубобетонных конструкций подземного паркинга офис-центра в пос. Хоста г. Сочи представлен в форме табл. 5. Собственно устройство сейсмоизолирующих колонн кинематической защиты продолжается в пределах рабочей недели при участии максимально до 10 монтажников и бетонщиков в смену.

**Таблица 2.** Рекомендуемые модели измерительных лазерных уровней-нивелиров  
**Table 2.** Recommended models of measuring laser levels-levelers

Наименование, характеристика и марка прибора	Источник информации (сайт)	Внешний вид	Точность, мм/м	Дальность без приемника, м	Угол самовыравнивания, град.	Кол-во лучей, шт.	Цена, руб.
Лазерный линейный нивелир Зубр КРЕСТ 55 ПРОФЕССИОНАЛ 34904	<a href="https://batterymag.ru/lazernyj-nivelir-zubr-krest-55-20-70-m-34904-26551-20">https://batterymag.ru/lazernyj-nivelir-zubr-krest-55-20-70-m-34904-26551-20</a>		± 0,3	20	± 3	3	6859
Лазерный уровень Мастер Алмаз LZ 800R	<a href="https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/geodezich-oborud/niveliry/lazernye-urovni/masteralmaz/lz-800r/">https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/geodezich-oborud/niveliry/lazernye-urovni/masteralmaz/lz-800r/</a>		± 0,2	40	± 3	3	13722
Лазерный линейный нивелир Практика НЛ360-3К 910-447	<a href="https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/niveliry/lazernye-urovni/praktika/nl360-3k-910-447/">https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/niveliry/lazernye-urovni/praktika/nl360-3k-910-447/</a>		± 0,5	20	± 4	3	12940
Лазерный построитель плоскостей RGK PR-81G	<a href="https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/niveliry/lazernye-urovni/rgk/postroitel-ploskostej-pr-81g/">https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/niveliry/lazernye-urovni/rgk/postroitel-ploskostej-pr-81g/</a>		± 0,2	40	± 4	3	11400
Лазерный нивелир CONDROL GFX300 1-2-200	<a href="https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/niveliry/lazernye-urovni/condrol/gfx300-1-2-220/">https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/izmeritelnyj/niveliry/lazernye-urovni/condrol/gfx300-1-2-220/</a>		± 0,3	20	± 5	3	8119

**Таблица 3.** Рекомендуемые модели измерительных оптических нивелиров  
**Table 3.** Recommended models of measuring optical levels

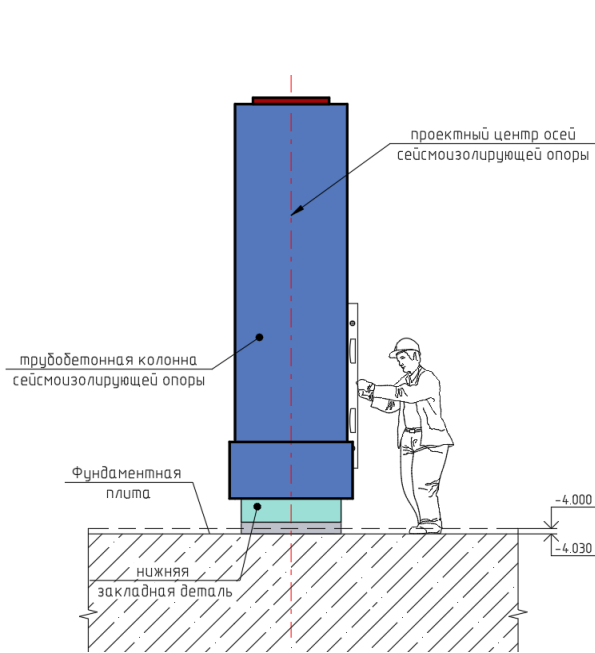
Наименование, характеристика и марка прибора	Источник информации (сайт)	Внешний вид	Увеличение, X	Визир	Среднеквadrатичная погрешность, мм	Мин. участок, м	Диапазон нивелирования, мин.	Цена, руб.
Оптический нивелир CONDROL 24X 2-3-038	<a href="https://valles.ru/product/nivelir-opticheskiy-condrol-24h/?utm">https://valles.ru/product/nivelir-opticheskiy-condrol-24h/?utm</a>		24	Оптический	2	0,5	15	12990
Оптический нивелир RGK C-32	<a href="https://www.bbrc.ru/catalog/item/opticheskiy_nivelir_rgk_c_32/?utm_source=direct&amp;utm_medium=cpc&amp;utm">https://www.bbrc.ru/catalog/item/opticheskiy_nivelir_rgk_c_32/?utm_source=direct&amp;utm_medium=cpc&amp;utm</a>		32	то же	1,5	0,2	15	20775
Нивелир Elitech OH 36	<a href="https://www.vseinstumenty.ru/instrument/izmeritelnyj/nivelir/opticheskie/elitech/nivelir-elitech-on-36/">https://www.vseinstumenty.ru/instrument/izmeritelnyj/nivelir/opticheskie/elitech/nivelir-elitech-on-36/</a>		36	то же	1,5	0,6	15	17720
Нивелир Elitech OH 20	<a href="https://www.vseinstumenty.ru/instrument/izmeritelnyj/nivelir/opticheskie/elitech/on-20/">https://www.vseinstumenty.ru/instrument/izmeritelnyj/nivelir/opticheskie/elitech/on-20/</a>		20	то же	1,5	0,6	15	12070
Оптический нивелир INSTRUMAX AL-124 IM0131	<a href="https://www.vseinstumenty.ru/instrument/izmeritelnyj/geodezich-oborud/niveliry/opticheskie/instrumax/al-124-im0131/">https://www.vseinstumenty.ru/instrument/izmeritelnyj/geodezich-oborud/niveliry/opticheskie/instrumax/al-124-im0131/</a>		24	Мушка	2	0,4	15	11490

**Таблица 4.** Пооперационный график устройства нижней закладной детали трубобетонной опоры. Технологический перерыв на твердение фибробетона условно не показан

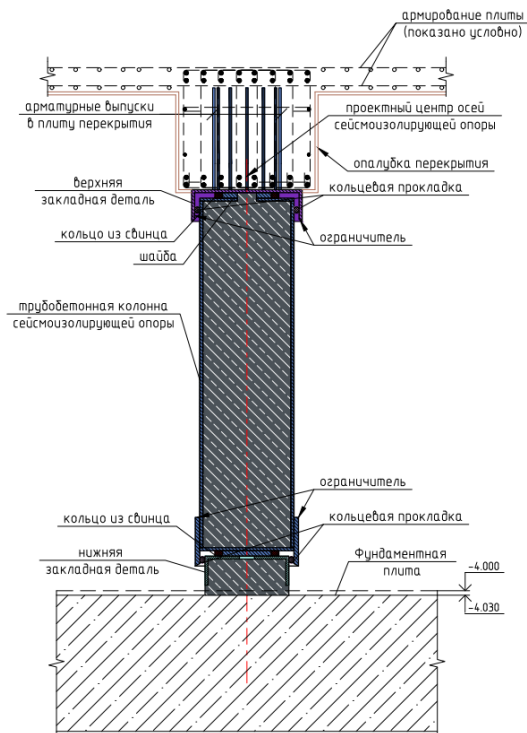
**Table 4.** Operational schedule of the device of the lower embedded part of the pipe-concrete support. The technological break for the hardening of fibroconcrete is conditionally not shown

№ п.п	Наименование операции	Время, мин									Продолжительность, мин	Затраты труда, чел.мин
		2	4	6	8	10	12	14	16	18		
1	Подготовка закладной детали и места ее установки		M3		M1 M2						3 3	10,2
2	Строповка и подача закладной детали к месту ее установки			M3							2	2
3	Установка закладной детали				M1 M2						3	6
4	Растропка закладной детали				M1 M2						0,5	1
5	Окончательная установка и выверка с помощью оптического нивелира или лазерного уровня					M1 M2					3	6
6	Устройство подливки из фибробетона						M3				3	6
7	Снятие опалубки							M1 M2			2	2
Итого на одну стойку												33,2

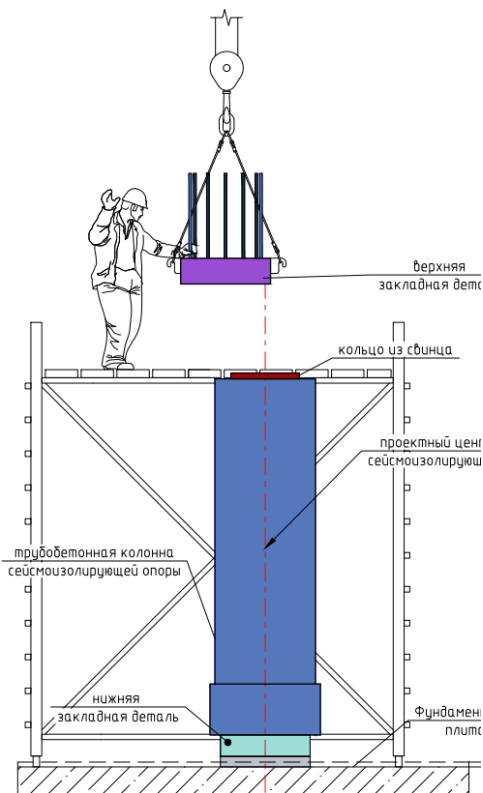




**Рис. 5.** Схема монтажа и выверки основной части трубобетонной колонны  
**Fig. 5.** Scheme of installation and alignment of the main part of the pipe-concrete column



**Рис. 7.** Схема устройства монолитного перекрытия подвального этажа на смонтированную трубобетонную колонну  
**Fig. 7.** The scheme of the device of the monolithic ceiling of the basement floor on the mounted pipe-concrete column



**Рис. 6.** Схема установки верхней закладной детали трубобетонной колонны сейсмозащиты  
**Fig. 6.** Installation diagram of the upper embedded part of the pipe-concrete column of seismic protection

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований состояния вопроса и производственного опыта сейсмостойкого строительства на Дальнем Востоке и юге РФ, обосновано предложены технологические схемы и пооперационные графики производства работ, которые могут стать основой технологического регламента устройства отечественных инновационных систем сейсмической изоляции сборно-монолитных каркасов преимущественно гражданских зданий.

В качестве геодезического приборного оснащения рекомендуются измерительный алюминиевый усиленный уровень «Вихрь», оптические нивелиры RGK C-32 или Elitech Oh 36 с оптическим визиром, а также лазерный построитель плоскостей RGK PR-81G или лазерный уровень Мастер Алмаз LZ 800R.

Предполагаем развитие полученных результатов при проектировании и реализации разработанной технологии по программе «Приоритет – 2030» с участием в конкурсе инновационных проектов РФ (зарегистрированная заявка №23-29-00027) для будущего внедрения в практику сейсмостойкого гражданского строительства и в Крыму. Аргументом в пользу развития высказанных предложений следует указать и позитивный опыт эксплуатации двух гражданских зданий в г. Севастополе по ул. Дмитрия Ульянова, запроектированных и возведенных с применением подобных сейсмоизолирующих систем кинематического принципа действия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронов А.В., Семенов С.Ю., Шаленный В.Т. Развитие конструкций и технологии высокоточного монтажа трубобетонных колонн кинематических систем сейсмической защиты каркасов гражданских зданий // Строительство и техногенная безопасность. – 2021. – № 20(72). – С.15-22. – DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-15-22.
2. Патент № 2773487 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/34. Кинематическая трубобетонная сейсмоизолирующая опора на монолитном железобетонном фундаменте: № 2021129337 заявл. 07.10.2021 опубл. 06.06.2022 / В.Т. Шаленный, А.В. Андронов, С.Ю. Семенов, В.Д. Жаринов. – EDN DEUZNМ.
3. Патент на полезную модель № 193791 U1 Российская Федерация, МПК E02D 27/34, E04C 3/34. Трубобетонная сейсмоизолирующая опора на монолитном железобетонном фундаменте: № 2019122743: заявл. 15.07.2019: опубл. 15.11.2019 / В.Т. Шаленный, Н.Ю. Воронцов, А.В. Андронов. – EDN GLNKLP.
4. Арифов И.Ш. Конструкция и усовершенствованная технология устройства сейсмоизолирующих трубобетонных опор многоэтажных каркасов гражданских зданий // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее. Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума, посвящённого 60-летию Академии строительства и архитектуры. 2020. С.62-65.
5. Жаринов В.Д. Сейсмоизолирующая опора кинематического типа повышенной надежности монтажа и эксплуатации // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее. Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума – 2021 «Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее». Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2021. – С.95-97.
6. Назин В.В. Индустриализация строительства сооружений сейсмостойкой конструкции. – Киев: Будивельник, 1977, 92 с.

## REFERENCES

1. Andronov A.V. Development of constructions and technologies of high-precision installation of pipe concrete columns of kinematic systems of seismic protection of civil buildings frames / A.V. Andronov, S.Y. Semenov, V.T. Shalenny // Construction and industrial safety. – 2021. – № 20(72). – Pp.15-22. – DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-15-22.
2. Pat. No. 2773487 C1 Russian Federation, IPC E02D 27/34. Kinematic pipe-concrete seismic-insulating support on a monolithic reinforced concrete foundation: No. 2021129337 application 07.10.2021 publ. 06.06.2022.
3. Pat. No. 193791 U1, Russian Federation, SPK E02D 27/34 (2019.02), E04C3 / 34 (2019.02). Seismic-insulating pipe-concrete support on a reinforced concrete foundation /V.T. Shalenny, N.Yu. Vorontsov, A.V. Andronov. – application No. 2019122743. – Applied. 07/15/2019; publ. 11/15/2019, Bul. No. 32. – 5 p.
4. Arifov, I. Sh. Design and improved technology for the construction of seismic-insulating pipe-concrete supports of multistory frames of civil buildings // Innovative development of construction and architecture: a look into the future. Collection of abstracts of the participants of the International Student Construction Forum dedicated to the 60th anniversary of the Academy of Civil Engineering and Architecture. 2020. P.62-65.
5. Zharinov, V. D. Seismic insulating support of kinematic type of increased reliability of installation and operation // Innovative development of construction and architecture: a look into the future. Collection of abstracts of participants of the International Student Construction Forum -2021 "Innovative development of construction and architecture: a look into the future". Simferopol: IT «ARIAL», 2021. pp.95-97.
6. Nazin, V.V. Industrialization of the construction of earthquake-resistant structures. – Kiev: Budivelnik, 1977. – 92 p.

IMPORT-SUBSTITUTING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR OPERATIONS OF HIGH-PRECISION INSTALLATION OF KINEMATIC SYSTEMS OF SEISMIC PROTECTION OF CIVIL OBJECTS

Shalenny <sup>1</sup> V.T., Semenov <sup>2</sup> S. Yu., Ivanenko N.A.

<sup>1</sup> V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture, 295943, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 181,  
<sup>2</sup> Sochi State University, Faculty of Environmental Engineering 354000, Krasnodar Territory, Sochi. Sochi, Politechnicheskaya str., 7  
e-mail: <sup>1</sup>v\_shalennyj@mail.ru, <sup>2</sup>smu5sochi@mail.ru, <sup>3</sup>inform-sochi11@yandex.ru

**Abstract.** The kinematic type seismic isolation system, proposed in the Soviet Union by Doctor of Technical Sciences Cherepinsky Yu.D. (Kazakhstan) and Kurzanov A.M. (Russia), selected as a promising one, is detailed. The improvement of the technology is to increase the accuracy of the installation of pipe-concrete columns on a monolithic reinforced concrete foundation. For this purpose, a new method of installation and reconciliation of the lower embedded part and the instrumentation of this process is proposed. Geodetic instruments and tools for technological equipment of the installation and reconciliation process, produced in the Russian Federation and thus allowing to abandon imported ones, are recommended. Technological schemes and operational schedules of work are presented, which can become the basis of technological regulations for the device of domestic innovative systems of seismic isolation of prefabricated monolithic frames of mainly civil buildings.

**Subject of research:** technological equipment of input, postoperative and acceptance quality control of the device of kinematic seismic isolation systems of prefabricated monolithic civil frames made of pipe-concrete columns of the design and technology of their production patented by the authors.

**Materials and methods:** analysis of the state of the issue with justification and detailing of the essence of the proposed technology, formation of the structure of technological operations for the device of a kinematic noise-insulating system of pipe-concrete columns and floors of the zero cycle, as well as collection and processing of technical data on the possible use of geodetic instruments and tools to ensure input, acceptance and postoperative quality control of the work performed with a choice of a set of recommended ones. At the same time, the requirements of technology, economy and import substitution were taken into account.

**Results.** Technological schemes of work on the device of elements of the kinematic system of seismic isolation from the pipe-concrete columns of the basement of a civil building with the use of geodetic instruments and tools. Recommendations on the choice of appropriate technological equipment for these operations, taking into account the requirements of measurement accuracy, economics and import substitution.

**Conclusions:** It is substantiated that technological schemes and operational schedules of work are proposed, which can become the basis of technological regulations for the device of domestic innovative seismic isolation systems of prefabricated monolithic frames of mainly civil buildings. As geodetic instrumentation, the Vortex measuring aluminum level, RGK C-32 or Elitech Oh 36 optical levelers with an optical sight, as well as the RGK PR-81G laser plane builder or the Master Diamond LZ 800R laser level are recommended.

**Key words:** kinematic systems of seismic isolation, geodetic control of installation.

УДК: 691.328.4:666.972.124

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНА НА ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНОАКТИВАЦИИ СЫРЬЯ

Когай Э.А., Макарова Е.С., Федоркин С.И.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.  
email: kogay\_emil@mail.ru

**Анотация:** В статье рассматривается технология изготовления мелкозернистого базальтофибробетона на основе известняковых заполнителей месторождений Крыма с использованием для приготовления бетонной смеси скоростного смесителя-активатора. Показано, что прочностные показатели базальтофибробетона зависят не только от содержания базальтового волокна и вида заполнителя, но и от способа приготовления бетонной смеси.

**Предмет исследования:** технология приготовления сырьевой смеси и физико-механические характеристики базальтофибробетона на основе известняков различного генезиса.

**Материалы и методы:** объектами исследования являются базальтофибробетоны на основе известняков различного генезиса, изготовленные с применением скоростного смесителя-активатора. Физико-механические свойства бетонов, «сохраняемость» волокон определяли по стандартным и известным методикам.

**Результаты:** получены экспериментальные результаты, свидетельствующие о получении качественных базальтофибробетонов на заполнителях из известняков с использованием скоростного смесителя-активатора.

**Выводы:** установлено, что прочностные показатели базальтофибробетона на известняковых заполнителях зависят не только от содержания базальтового волокна и вида заполнителя, но и от способа приготовления бетонной смеси. Существенный вклад в рост прочности бетона вносит механоактивация сырьевых компонентов в смесителе-активаторе, оснащенном ротором.

**Ключевые слова:** базальтофибробетон, известняковые заполнители, механоактивация, смеситель-активатор, прочность.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Важнейшим направлением научно-технического прогресса в строительстве является повышение физико-механических свойств строительных материалов, обеспечивающих долговечность, высокие эксплуатационные и экономические показатели зданий и сооружений.

Одним из эффективных способов улучшения качественных показателей бетонов является их дисперсное армирование различными видами металлических и неметаллических волокон минерального или органического происхождения. Дисперсное армирование позволяет компенсировать такие недостатки обычного бетона, как низкое сопротивление растяжению и хрупкость разрушения [1].

Значительное внимание отечественных и зарубежных ученых уделяется совершенствованию технологий приготовления бетонных смесей с применением армирующих волокон для получения фибробетона с заданными физико-механическими характеристиками.

Следует отметить, что фибробетон обладает более высокой стоимостью по сравнению с обычным бетоном. Повысить привлекательность фибробетона у строителей можно путем использования техногенного сырья, например отходов камнедобычи известняков.

В настоящее время в Крыму эксплуатируется более 100 карьеров по добыче известнякового камня и стеновых блоков для строительства жилых и

общественных зданий, а также других объектов различного назначения [2]. По некоторым данным, ежегодно образуется 1 млн.м<sup>3</sup> известняковых отходов. Вопросы использования отходов известняка в качестве заполнителя для дисперсно-армированного бетона, на наш взгляд, изучены недостаточно и вызывают необходимость дополнительных исследований.

При разработке современных технологий производства строительных материалов многими специалистами используются способы механохимической активации сырьевых материалов с использованием высокоскоростных агрегатов, например, ударного действия. Механоактивация сырья приводит к качественным и количественным изменениям в характере химической связи и химическом составе твердых тел. Она выступает как вид воздействия, противоположный по направлению действия высоких температур. Это открывает возможности для разработки новых (нетермических) методов переработки минерального сырья. Например, известны работы по декарбонизации известняка при интенсивном механическом воздействии. Значительное увеличение реакционной способности твердых тел при механоактивации может служить методом направленного регулирования их физико-химических свойств [3].

Создание эффективной технологии изготовления фибробетонов, в частности, базальтофибробетонов на основе известняковых отходов камнедобычи с использованием механоактивации сырья является перспективным

направлением в производстве этого вида бетонов и позволит существенно улучшить его качественные характеристики.

### **Анализ основных исследований и публикаций**

Технология получения мелкозернистого базальтофибробетона отличается целым рядом требований, без соблюдения которых сложно получить высокопрочный материал с высокими эксплуатационными характеристиками и долговечностью.

К таким требованиям, как отмечают в своих работах Ф.Н. Рабинович, А.А. Пашенко и др. [4, 5] относятся:

- наличие в бетонной смеси одинаково высокопрочных волокон;
- сохранение прочности волокон в процессе приготовления смеси;
- необходимое количество растворной части для размещения в ней волокон;
- равномерность распределения волокон по всему объему матрицы без непосредственного соприкосновения друг с другом;
- химическая стойкость волокон в материале матрицы;
- более высокий модуль упругости волокна по сравнению с модулем упругости матрицы;
- достаточная удобоукладываемость смеси.

В настоящее время исследование процессов приготовления фибробетонных смесей развивается в двух направлениях: первое направление связано с разработкой новых видов смесителей [6-9], второе основано на совершенствовании технологии перемешивания с использованием существующих смесителей [10-12].

Несмотря на использование различных типов смесителей, основной задачей исследований является максимально возможное соблюдение требований, изложенных выше.

На основании анализа литературных источников, установлено, что традиционные смесители при введении волокна в смесь недостаточно равномерно распределяют волокна по объему с образованием комков.

Хорошие результаты в приготовлении базальтофибробетонной смеси, как показали исследования А.В. Бучкина [13], получены при использовании турбулентного смесителя, оснащенного ротором-активатором, вращающимся со скоростью до 700 об/мин. На наш взгляд, помимо эффективного перемешивания, в этом аппарате происходит механоактивация сырьевых компонентов при их контакте в турбулентных завихрениях, создаваемых быстровращающимся ротором активатором.

Как известно, воздействие на материал высоких скоростей его нагружения приводит к изменению энергетического состояния материала. Общеизвестно, что активационная способность материалов связана с изменением структуры

кристаллической решетки вещества, аморфизацией поверхностных слоев частиц, различными видами излучения, изменением химических видов связей на поверхности и в глубинных слоях вещества, электризацией поверхности и с другими процессами [3].

В последние годы, авторами настоящей статьи проводятся исследования по получению мелкозернистого базальтофибробетона на основе известняковых отходов камнепиления различных крымских месторождений.

Характерной особенностью известняковых заполнителей является низкая прочность частиц заполнителя и высокая деформативность бетонных изделий на их основе.

Нашими исследованиями показана возможность использования известняковых заполнителей в производстве качественного базальтофибробетона [14, 15].

Анализируя результаты многочисленных исследований по получению базальтофибробетонов следует отметить, что для получения качественного бетона основное внимание необходимо обращать на совершенствование технологии и аппаратного оформления приготовления базальтофибробетонных смесей.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Целью настоящей работы являлось совершенствование технологии изготовления мелкозернистого базальтофибробетона на известняковых заполнителях с использованием высокоскоростного смесителя-активатора.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- обоснован выбор известняков месторождений Крыма и определены их физико-механические свойства;
- отработана технология приготовления базальтофибробетонной смеси на известняковых заполнителях с использованием лопастного смесителя-активатора;
- изучены физико-механические свойства базальтофибробетона в зависимости от вида известняковых заполнителей, количества и длины базальтовых волокон;
- изучена «сохраняемость» базальтовых волокон при приготовлении базальтофибробетонных смесей с использованием лопастного смесителя-активатора.

## СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материалов для проведения экспериментальных исследований нами использованы известняки Крымских месторождений различного генезиса, портландцемент Новороссийского цементного завода ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ 500ДО) и базальтовые волокна РБР-18-Т10/12 длиной 5 и 12 мм.

Известняки Крымского полуострова представлены различными видами разного генезиса. По своему происхождению их можно разделить на органогенные – осадочные (нуммулитовые, известняки-ракушечники), хемогенные – химического осаждения (оолитовые) и метаморфические-перекристаллизованные (мраморовидные) [7].

В настоящем исследовании использованы известняки следующих месторождений Крыма:

- нуммулитовый известняк Скалистого месторождения;
- известняк-ракушечник Бешараньского месторождения;
- мраморовидный известняк Мраморного месторождения.

Нуммулитовый известняк месторождения представлен мощной толщей породы симферопольского яруса среднего эоцена. По своей структуре плотный, частично перекристаллизованный.

Известняк-ракушечник представляет собой желто-бурую породу понтического яруса (нижний ярус плиоценового отдела). Известняк перекристаллизован, с кавернами и пустотами. Верхние слои состоят, в основном, из остатков моллюсков в виде ядер и отпечатков. Моллюски представлены кардидами дрейссенсиями.

Мраморовидный известняк представляет собой породу, состоящую из рифовых мраморовидных известняков кимеридж-титонского яруса верхней юры. Он представлен двумя разновидностями мраморизованных известняков, серыми – массивной текстуры, содержащими перекристаллизованные остатки кораллов, прожилки и гнезда кальцита, и красно-бурых, сложенных разновидностями пятнистых (коралловых) и брекчиевидных известняков.

Физико-механические свойства известняков и их химический состав приведены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1.** Физико-механические свойства Крымских известняков различного генезиса

**Table 1.** Physical and mechanical properties of Crimean limestones of various genesis

Вид известняка	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициенты	
						размягчения	морозостойкости
Нуммулитовый известняк	2,7 – 2,73	1,5 – 2,1	23,0 – 44,3	6,9 – 19,3	4,1 – 34,6	0,46 – 0,97	0,55 – 0,99
Известняк-ракушечник	2,7 – 2,72	0,85 – 1,9	30,2 – 66,9	7,4 – 33,3	0,4 – 2,6	0,56 – 0,96	0,51 – 0,98
Мраморовидный известняк	2,7 – 2,75	2,6 – 2,7	1,4 – 4,0	0,05 – 1,3	35,7 – 182,3	0,75 – 1,0	0,74 – 0,99

**Таблица 2.** Химический состав Крымских известняков различного генезиса

**Table 2.** Chemical composition of Crimean limestones of various genesis

Вид известняков	п.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PO <sub>5</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Нуммулитовый известняк	38,51 – 43,50	1,00 – 10,1	0,11 – 1,02	0,11 – 0,72	46,65 – 54,90	0,30 – 2,04	следы – 0,50	0,30 – 1,80	0,01 – 0,07
Известняк-ракушечник	33,60 – 44,00	0,01 – 3,56	1,10 – 3,21	0,10 – 1,14	42,2 – 56,0	0,19 – 1,74	0,10 – 4,10	0,05 – 1,16	0,11 – 0,65
Мраморовидный известняк	42,24 – 43,90	0,92 – 1,96	0,02 – 1,67	0,12 – 0,80	48,08 – 56,00	0,01 – 2,96	0,28 – 0,81	–	–

Основные характеристики базальтовых волокон приведены в таблице 3.

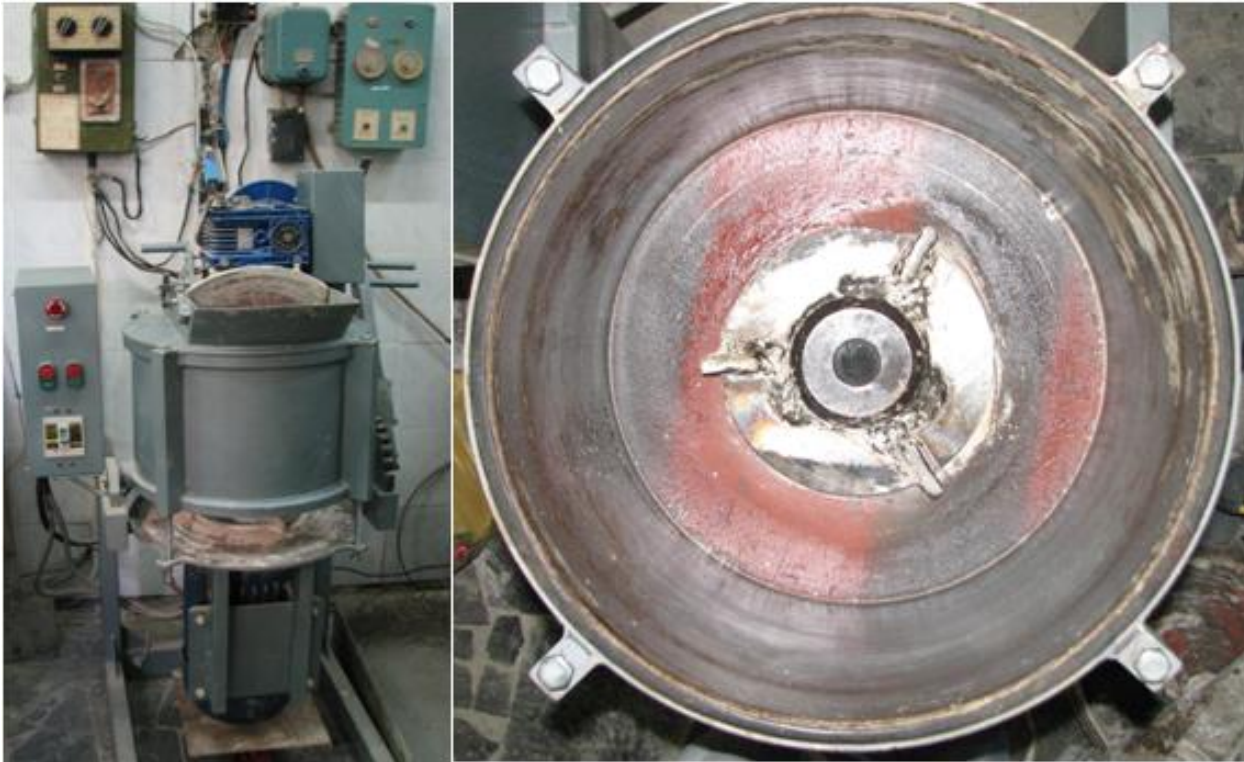
**Таблица 3.** Основные характеристики базальтового волокна

**Table 3.** Main characteristics of basalt fiber

Диаметр, мм	Длина, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Относительное удлинение, %
0,5	5 – 12	2670	3000 – 3500	70 – 90	3,0 – 3,2

Технология приготовления базальтофибробетонных смесей отработывалась на специально изготовленном лабораторном лопастном смесителе-активаторе Р1-00-00, объемом 20 л, оснащенный роторной дробилкой (рис. 1). Частота вращения ротора – 1500 об/мин. Сырьевая

смесь в роторной дробилке, подвергается многократному ударному воздействию с максимальной скоростью нагружения до 40 м/с и при этом активизируется. Время гомогенизации смеси составляло 60 с.



**Рис. 1.** Скоростной смеситель-активатор с роторной дробилкой P1-00-00: а) общий вид смесителя; б) роторная дробилка.  
**Fig. 1.** High-speed mixer-activator with impact crusher P1-00-00 a) general view of the mixer; b) impact crusher.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

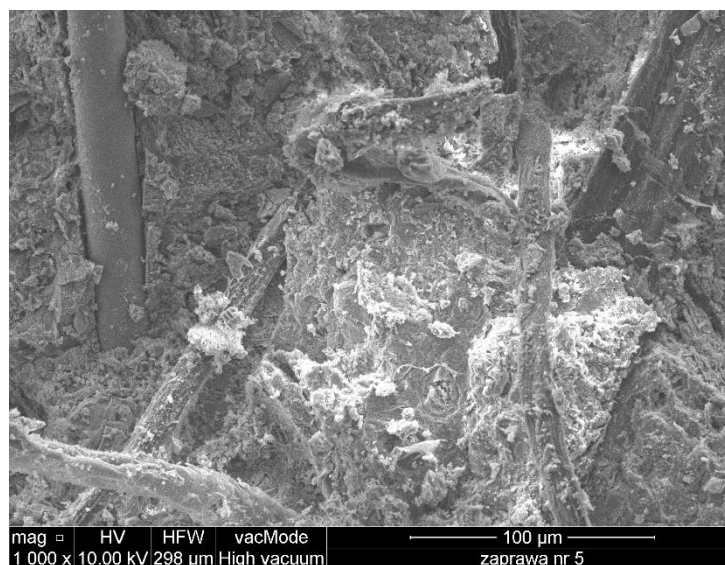
Для отработки технологии в лабораторном смесителе-активаторе использованы следующие способы приготовления базальтофибробетонной смеси на карбонатных заполнителях:

- 1) ввод базальтового волокна в готовую бетонную смесь;
- 2) ввод базальтового волокна в сухую смесь;
- 3) ввод базальтового волокна одновременно со всеми компонентами бетонной смеси.

Состав минеральной части фибробетонной смеси было следующей: цемент карбонатный заполнитель – 1:3 (по массе). Максимальная крупность зерен карбонатного заполнителя – 5 мм. Количество вводимого базальтового волокна составляло 0,3; 0,6 и 0,9 % от массы сухой смеси, В/Ц = 0,5. Из полученного базальтофибробетона формовали образцы-балочки 4x4x16 см способом виброформования на виброплощадке СМЖ-739. Полученные балочки в возрасте 28 сут испытывали на растяжение при изгибе ( $\sigma_{и}$ ) и на сжатие ( $\sigma_{ж}$ ) по ГОСТ 10180-2012.

Изучение «сохраняемости» волокон проводили на примере базальтовых волокон длиной 12 мм путем аналитической выборки навесок после приготовления базальтофибросмеси с подсчетом количества базальтовых волокон в навеске по методике [13].

Исследование прочности базальтофибробетонов в зависимости от содержания базальтового волокна и способов приготовления фибробетонной смеси (табл. 4) показали, что наиболее эффективным способом перемешивания смеси является третий способ, при котором прочность фибробетона на 10 и 20 % выше по сравнению с первым и вторым способом соответственно. Такой прирост прочности образцов объясняется с одной стороны, более равномерным распределением базальтовых волокон без комкования (рис. 2), а с другой стороны, повышением уровня механоактивации сырьевой смеси при ударном воздействии лопастей роторной дробилки. Для выявления влияния механоактивации на прочность образцов мелкозернистого бетона на карбонатных заполнителях были приготовлены сырьевые смеси указанных выше составов без базальтовых волокон. Перемешивание сырьевой смеси производилось в смесителе-активаторе, как при отключенной роторной дробилке, так и при включенной дробилке. Результаты исследований сведены в табл. 5 и свидетельствуют о том, что активация сырьевой смеси в смесителе-активаторе приводит к повышению прочности образцов с 20 до 40 МПа. Т.е., вклад механоактивации сырьевой смеси из цемента и карбонатных заполнителей в повышение прочности фибробетона составляет 25 %.



**Рис. 2.** Структура базальтофибробетона на мраморовидном известняковом заполнителе, изготовленном по способу 3  
**Fig. 2.** The structure of basalt-fiber-reinforced concrete on marble-like limestone aggregate, made according to method 3

**Таблица 4.** Влияние количества базальтового волокна и способа приготовления фибросмеси на прочностные характеристики фибробетона

**Table 4.** Influence of the amount of basalt fiber and the method of preparing a fibrous mixture on the strength characteristics of fiber-reinforced concrete

Вид известняково-заполнителя	Длина базальтовых волокон, мм	Прочность образцов (МПа) при содержании базальтового волокна в смеси (%), в зависимости от способа приготовления фибросмеси																	
		1 способ						2 способ						3 способ					
		0,3		0,6		0,9		0,3		0,6		0,9		0,3		0,6		0,9	
		$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$
Мраморовидный известняк	12	5,88	29,3	6,15	31,0	6,67	35,0	5,23	26,4	5,47	27,5	5,92	31,0	6,54	33,0	6,84	34,4	7,41	38,7
	5	5,68	29,5	5,82	29,7	6,15	30,6	5,05	26,2	5,17	26,4	5,46	27,2	6,32	32,8	6,47	33,0	6,84	34,0
Нуммулитовый известняк	12	6,44	31,2	6,72	33,1	7,31	36,8	5,72	27,5	5,96	29,3	6,48	32,6	7,15	34,8	7,47	36,6	8,12	41,1
	5	5,62	29,4	5,86	30,1	6,15	31,4	5,0	26,1	5,21	26,8	5,46	28,1	6,25	32,7	6,51	33,7	6,86	35,1
Известняк-ракушечник	12	5,84	28,6	6,23	30,1	7,30	36,1	5,21	25,4	5,42	27,2	6,45	32,2	6,51	31,8	6,90	34,2	8,10	40,3
	5	5,23	25,4	5,78	26,6	5,92	29,6	4,74	22,7	5,13	24,6	5,18	26,5	5,93	28,4	6,44	30,8	6,58	33,1

**Таблица 5.** Прочность образцов мелкозернистого бетона на карбонатных заполнителях из неактивированных и активированных смесей

**Table 5.** Strength of samples of fine-grained concrete on carbonate aggregates from non-activated and activated mixtures

Вид карбонатного заполнителя	Прочность образцов при сжатии ( $\sigma_{ж}$ ) и растяжении при изгибе ( $\sigma_n$ ), МПа			
	Неактивированная смесь		Активированная смесь	
	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$	$\sigma_{ж}$	$\sigma_n$
Нуммулитовый известняк	29,1	5,75	39,7	7,46
Известняк-ракушечник	24,6	4,94	33,4	6,58
Мраморовидный известняк	22,5	4,48	31,0	6,19

В связи с использованием в смесителе-активаторе роторной дробилки ударного действия, представляет интерес изучение «сохраняемости» базальтовых волокон в зависимости от вида карбонатного заполнителя.

Изучение «сохраняемости» волокон проводилось на примере использования базальтовых волокон РБР-18-T10/12 длиной 12 мм по методике [13]. После приготовления фибросмеси в смесителе-активаторе проводилась аналитическая выборка навесок и для каждой навески проводили подсчет количества волокон, находящихся в смеси. Результаты сведены в табл. 6.

Из данных табл. 6 видно, что максимальная «сохраняемость» волокон наблюдается в смесях с нуммулитовым известняком, а минимальная при использовании мраморовидного известняка. При этом максимальное количество волокон длиной от 3 до 9 мм составляет для нуммулитового известняка – 62 %, для известняка-ракушечника количество волокон этой длины равно – 60 %, а для мраморовидного известняка – 48 %. Это объясняется прочностью известняков. При ударной активации и скоростном перемешивании частицы известняка при соприкосновении с базальтовым волокном частично разрушают фибру и уменьшают длину волокна.

**Таблица 6.** Изменение длины волокна в сырьевой смеси после активации и перемешивания в зависимости от вида карбонатного заполнителя**Table 6.** Change in the length of the fiber in the raw mixture after activation and mixing, depending on the type of carbonate filler

Вид карбонатного заполнителя	Количество волокна (%), длиной (мм)					
	9-12	7-9	5-7	3-5	1-3	< 1
Нуммулитовый известняк	15	19	22	21	15	8
Известняк-ракушечник	11	17	20	23	21	14
Мраморовидный известняк	9	12	16	20	22	21

Полученные экспериментальные результаты физико-механических характеристик мелкозернистого дисперсно-армированного бетона на известняковых заполнителях свидетельствуют о возможности получения качественных строительных материалов независимо от генезиса известняковых пород.

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установлено, что прочностные характеристики базальтофибробетона на известняковых заполнителях существенно зависят не только от процентного содержания базальтового волокна и вида заполнителя, но и от способа приготовления бетонной смеси.

2. Показана эффективность технологии приготовления базальтофибробетонных смесей на скоростном смесителе-активаторе, оснащенный роторной дробилкой, при вводе в активатор базальтового волокна одновременно со всеми компонентами бетонной смеси. При этом способе прочность базальтофибробетона выше на 10-20 % по сравнению с другими способами.

3. Установлено, что приготовление бетонной смеси в смесителе-активаторе с роторной дробилкой приводит к росту прочности бетона без армирования волокна с 20 до 40 МПа за счет механоактивации компонентов смеси.

4. Изучена «сохраняемость» базальтовых волокон при приготовлении смеси в смесителе активаторе и показано, что максимальное количество волокон длиной 3-9 м изменяется от 62 % (нуммулитовый известняк) до 60 % (известняк-ракушечник) и до 48 % (мраморовидный известняк).

## Перспективы дальнейшего исследования

Дальнейшие исследования технологии изготовления базальтофибробетона должно быть направлено на совершенствование аппаратного оформления его производства, разработку рациональных составов для получения бетона с заданными стабильными физико-механическими характеристиками. Это даст возможность увеличить привлекательность базальтобетона на известняковых заполнителях для проектировщиков и строителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пустовгар А.П. Эффективность использования дисперсного армирования бетонов и строительных растворов пропиленовой и базальтовой фиброй/ А.П. Пустовгар, А.Ю. Абрамова, Н.Е. Еремина // Технологии бетонов. – 2019, №7-8. – С.34-42.
2. Любомирский Н.В. Минерально-сырьевая база строительной индустрии Крыма: Справочник/ авт. – сост. Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2021. – 540 с.
3. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов/С.И. Федоркин. – Симферополь: Изд. «Таврида», 1997. – 180 с.
4. Рабинович Ф.Н. дисперсно-армированные бетоны/ Ф.Н. Рабинович. – М: Стойиздат, 1989. – 175 с.
5. Пашенко А.А. Стеклоцементные композиционные материалы/ А.А. Пашенко, В.П. Сербин, В.Р. Бондарь. – Киев: Будівництво, 1979. – 190 с.
6. Виницкий П.Г. Расчет мощности привода импульсных бетоносмесителей для приготовления бетонных смесей / Виницкий П.Г., Кромская Н.Ф., Евсеев Б.А. // Фибробетон и его применение в строительстве / М.: НИИЖБ, 1979. – С. 108-112.
7. Евсеев Б.А. Оборудование для производства металлической фибровой арматуры и бетонной смеси / Евсеев Б.А., Кромская Н.Ф., Дейруп О.А. // Фибробетон и его применение в строительстве. – М.: НИИЖБ, 1979. – С. 67 – 72
8. Кромская Н.Ф., Евсеев Б.А. Технология и механизация приготовления дисперсно-армированного бетона / Н.Ф. Кромская, Б.А. Евсеев // Дисперсно-армированные бетоны и конструкции из них. – Рига, 1975. – С. 108-109.
9. Курбатов Л.Г. Опыт применения сталефибробетона в инженерных сооружениях / Курбатов Л.Г., Хазанов М.Я., Шустов А.Н. – Л.: ЛДНТП, 1982. – 28 с.
10. Аль Хаддад Абдуль Муаейн Хамид. Влияние технологических параметров перемешивания на свойства сталефибробетона: Автореф. дис...канд. техн. наук /ЛИСИ, Л., 1980. – 20 с.
11. Королев К.М. Применение современных смесителей для приготовления фибробетона / К.М. Королев // Фибробетон и его применение в строительстве / М.: НИИЖБ, 1979. – С. 79-80.

12. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов: дис. кандидата технических наук: 05.23.05 / Пухаренко Юрий Владимирович. – Санкт-Петербург, 2004. – 315с.

13. Бучкин А.В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном: дис. ... кандидаты техн. Наук: 05.23.05 / Бучкин Андрей Викторович – Москва, 2011, 130с.

14. Когай Э.А. Оптимизация процесса получения бетона армированного высокомодульным базальтовым волокном/ Э.А. Когай // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2012. – №26. – С. 194-201.

15. Fedorkin S. The study of the formation of the microstructure of cement paste on calcareous aggregates, basalt fiber reinforce/ S. Fedorkin, E Kogay// Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Academic Congress "Science and Education in the Modern World". – New Zealand, University of Auckland., 2015. – Pp.994-1002.

## REFERENCE

1. Pustovgar A.P. Efficiency of using dispersed reinforcement of concrete and building solutions with propylene and basalt fiber/ A.P. Pustovgar, A.Y. Abramova, N.E. Eremina // Technologies of concrete. – 2019, No. 7-8. – Pp. 34-42.

2. Lyubomirsky N.V. Mineral resource base of the construction industry of Crimea: Handbook/ author – comp. N.V. Lyubomirsky, S.I. Fedorkin. – Simferopol: IT "Arial", 2021. – 540 p.

3. Fedorkin S.I. Mechanical activation of secondary raw materials in the production of building materials / S.I. Fedorkin. – Simferopol: Publishing house "Tavrida", 1997. – 180 p.

4. Rabinovich F.N. dispersed-reinforced concrete/ F.N. Rabinovich. – Moscow: Stoizdat, 1989. – 175 p.

5. Pashchenko A.A. Glass-cement composite materials/ A.A. Pashchenko, V.P. Serbin, V.R. Bondar. – Kiev: Budivnitsvo, 1979. – 190 p.

6. Vinitzky P.G. Calculation of the drive power of pulsed concrete mixers for the preparation of concrete

mixtures / Vinitzky P.G., Kromskaya N.F., Evseev B.A. // Fiber concrete and its application in construction / Moscow: NIIZHB, 1979. – Pp. 108-112.

7. Evseev B.A. Equipment for the production of metal fiber reinforcement and concrete mix / Evseev B.A., Kromskaya N.F., Deyrup O. A. // Fiber concrete and its application in construction. – M.: NIIZHB, 1979. – Pp. 67-72

8. Kromskaya N.F., Evseev B.A. Technology and mechanization of preparation of dispersed-reinforced concrete / N.F. Kromskaya, B.A. Evseev // Dispersed-reinforced concrete and structures from them. – Riga, 1975. – Pp. 108-109.

9. Kurbatov L.G. Experience of using steel fiber concrete in engineering structures / Kurbatov L.G., Khasanov M.Ya., Shustov A.N. – L.: LDNTP, 1982. – 28 p.

10. Al Haddad Abdul Muayein Hamid. The influence of technological parameters of mixing on the properties of steel fiber concrete: Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences / LISI, L., 1980. – 20 p.

11. Korolev K. M. The use of modern mixers for the preparation of fibroconcrete / K. M. Korolev // Fibroconcrete and its application in construction / M.: NIIZHB, 1979. – Pp. 79-80.

12. Pukharenko Yu.V. Scientific and practical foundations of the formation of the structure and properties of fibroconcrete: dis. .Candidate of Technical Sciences: 05.23.05 / Pukharenko Yuri Vladimirovich. – St. Petersburg, 2004. – 315 p.

13. Buchkin A.V. Fine-grained concrete of high corrosion resistance reinforced with thin basalt fibers: dis. ...tenx candidates. Sciences: 05.23.05 / Buchkin Andrey Viktorovich – Moscow, 2011, 130с.

14. Kogai E.A. Optimization of the process of obtaining reinforced concrete with high-modulus basalt fiber/ E.A. Kogai // Resource economy of materials, constructs, and equipment. - 2012, No. 26. – Pp. 194-201.

15. Fedorkin S. Investigation of the formation of the microstructure of cement dough on lime agglomerates reinforced with basalt fibers / S. Fedorkin, E. Kokai // Materials of the 4th International Academic Congress "Science and Education in the modern world". – New Zealand, University of Auckland., 2015. – Pp.994-1002.

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING BASALT FIBER CONCRETE ON LIMESTONE AGGREGATES USING MECHANICAL ACTIVATION OF RAW MATERIALS.

Kogai E.A., Makarova E.S., Fedorkin S.I.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
email: kogay\_emil@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the technology of manufacturing fine-grained basalt-fiber concrete based on limestone aggregates of Crimean deposits using a high-speed mixer-activator for the preparation of a concrete mixture. It is shown that the strength parameters of basalt fiber concrete depend not only on the content of basalt fiber and the type of filler, but also on the method of preparation of the concrete mixture.

**Subject of research.** Technology of preparation of raw materials mixture and physical and mechanical characteristics of basalt fiber concrete based on limestones of various genesis.

**Materials and methods.** The objects of research are basalt fiber concrete based on limestone of various genesis, made using a high-speed mixer-activator. The physical and mechanical properties of concrete, the "preservation" of fibers were determined by standard and well-known methods.

**Results.** Experimental results have been obtained indicating the production of high-quality basalt fiber concrete on limestone aggregates using a high-speed mixer-activator.

**Conclusions.** It has been established that the strength parameters of basalt fiber concrete on limestone aggregates depend not only on the content of basalt fiber and the type of aggregate, but also on the method of preparing the concrete mixture. A significant contribution to the growth of concrete strength is made by mechanical activation of raw components in a mixer-activator equipped with a rotor.

**Key words:** basalt fiber concrete, limestone aggregates, mechanical activation, mixer-activator, strength.

УДК 69.058.5

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС В ДИАФРАГМАХ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Калафатов<sup>1</sup> Д.А., Богучкий<sup>2</sup> Ю.Г., Родин<sup>3</sup> С.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.  
<sup>1</sup>jafer90@mail.ru; <sup>2</sup>bogutskiyy@mail.ru; <sup>3</sup>sv\_rodin@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлен анализ тензометрического метода определения напряженно-деформированного состояния железобетонных диафрагм. Анализируется техническое состояние и степень надежности несущих конструкций, получены и сопоставлены значения напряжений в бетоне и нормативного сопротивления бетона по прочности на осевое сжатие и растяжение.

**Предмет исследования:** напряженно-деформированное состояние железобетонных диафрагм объекта незавершенного строительства.

**Материалы и методы:** материалы для данной статьи получены в ходе выполнения обследования объекта незавершенного строительства. Определение напряжений основано на определении деформаций тензометрическим методом, а именно методом «снятия напряжений».

**Результаты:** по результатам исследования получены и сопоставлены напряжения в бетоне наиболее нагруженных диафрагмах жесткости с нормативным сопротивлением бетона.

**Выводы:** установлено напряженно-деформированное состояние диафрагм, характеризующееся "сжатием", главные сжимающие напряжения не превышают нормативного сопротивления бетона по прочности на осевое сжатие. Установлена категория технического состояния диафрагм.

**Ключевые слова:** диафрагмы, конструкция, бетон, напряжения, тензометрия, обследование, дефекты.

### ВВЕДЕНИЕ

Строительство в южных регионах Крымского полуострова влечет за собой решение важных задач по обеспечению надежной и долговечной работы, несущих конструкций зданий и сооружений, в сложных инженерно-геологических и геофизических условиях. На площадках строительства широко развиты оползневые, тектонические и сейсмические процессы, приводящие к нестабильности геосреды.

При возведении многоэтажных зданий с подземными этажами значительные усилия сосредотачиваются в несущих конструкциях нижних этажей в частности железобетонных диафрагмах. Для контроля напряженно-деформированного состояния данных конструкций актуальным является применение тензометрического метода. Данный метод широко применим при испытании новых конструктивных элементов или детального изучения существующих конструкций при научных исследованиях. С помощью тензометрических методов также оценивается изменение параметров НДС при мониторинге технического состояния уникальных зданий и сооружений или зданий и сооружений с повышенным классом ответственности.

Экспериментальное определение напряжений непосредственно на объекте строительства основанное на определении деформаций электротензометрическими методами, а именно методом «снятия напряжений», является

актуальным исследованием в практике строительства.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Развитие и совершенствование существующих методов расчета невозможно без углубленного экспериментального изучения действительной работы материалов, конструкций и сооружений под эксплуатационными нагрузками. Данным вопросом занимались и занимаются все ведущие научно-исследовательские учреждения такие как НИИИЖБ, НИИОСП, ЦНИИСК, ЦНИИпромзданий и др., а также отражены в работах, ученых: Н.М. Герсеванова, М.И. Горбунов-Посадова, З.Г. Тер-Мартиросяна, Ю.Н. Мурзенко, Б.И. Долматова, В.А. Ильичева, А.Н. Тетиора, И.В. Травуша, М.Г. Зерцалова, и многих других.

В статье Н.Н. Бычкова, С.Г. Елгаева, В.А. Мельникова описаны способы определения НДС обделок и крепей подземных сооружений [1]. В статье А.Д. Монахова, Н.О. Яковлева, В.В. Автаева, Е.А. Котова представлен обзор методов определения остаточных напряжений [3].

Тензометрические методы исследований широко применимы при геотехническом мониторинге и мониторинге технического состояния строительных конструкций, так применение данных методов описаны в статье Д.В. Топчий, В.В. Климина, М-Б.Х. Кодзоева, И.М. Халиуллина [5] и в статье В.И. Запруднова, Н.Г. Серегина [2].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной целью данного исследования является определение НДС тензометрическим методом в диафрагмах, а также оценка технического состояния и степени надежности данных конструкций на объекте незавершенного строительства.

Исследование было проведено в рамках технического обследования объекта незавершенного строительства, расположено на южном берегу Крымского полуострова в г. Ялта, пгт. Отрадное.

Участок строительства расположен на склоне с крутизной  $15^\circ$ , в пределах абсолютных отметок 105-120 м. Рельеф участка искусственно спланирован и представляет собой систему из пяти террас с уклонами  $0-2^\circ$  с перепадами от 1-4 м.

В сейсмическом отношении участок изысканий относится к сейсмически опасным районам. Расчетная сейсмичность – 8 баллов. Согласно СП 14.133300.2018 [10], грунты площадки изысканий относятся ко II категории по сейсмическим свойствам, и не меняют сейсмичность площадки.

Конструктивная схема здания представляет собой монолитный железобетонный безригельный каркас.

Фундаменты выполнены свайными из висячих буронабивных свай диаметром 620 мм. Оголовки свай объединены ленточным монолитным ростверком таврового сечения  $1000 \times 800(h)$  мм.

Колонны – монолитные железобетонные сечением  $400 \times 400$  мм.

Диафрагмы жесткости – монолитные железобетонные толщиной 300 мм.

Стены лифтовых шахт – монолитные железобетонные толщиной 200 мм.

Плиты перекрытия – монолитные железобетонные толщиной 200 мм.

Лестничные марши – монолитные железобетонные.

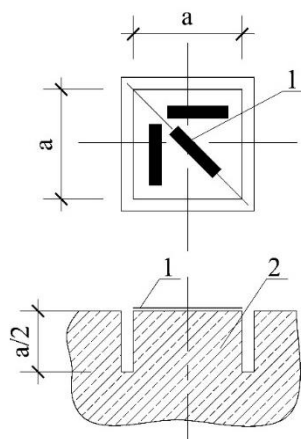
Плиты покрытия – монолитные железобетонные толщиной 200 мм.

Обследование объекта выполнено в соответствии с нормативным документом [9] согласно следующему общему плану:

- изучение проектной документации и визуальное освидетельствование;
- разработка плана инструментального обследования и проверки достоверности результатов обследования;
- инструментальное обследование конструкций [7];
- тензометрические исследования;
- статистическая обработка результатов контроля параметров конструкций [4].

Экспериментальное определение напряжений, возникающих в диафрагмах основано на определении деформаций тензометрическим методом, а именно методом «снятия напряжений».

Метод определения остаточных напряжений путем освобождения от напряжений столбика материала и параллельной регистрации деформации поверхности столбика основывается на том, что остаточные напряжения являются объемными напряжениями, т.е. источники этих напряжений размещаются во всех точках объема тела конструкции. Поля этих напряжений уравновешены во всем объеме конструкции и, следовательно, вырезка некоторого объема материала освобождает этот объем только от действия на него остальной части конструкции. Часть напряжений остается в вырезанном объеме и уравновешивается внутри него. Для определения истинной величины остаточных напряжений такого рода в какой-либо точке вырезали из объема всей конструкции столбик материала, размеры которого определяли в основном габаритами размещенных на нем тензорезисторов, а высота была не менее половины большей стороны столбика (рис.1) [12].



**Рис. 1.** Схема измерения остаточных напряжений:  
1 – минирозетка; 2 – разгруженный столбик материала

**Fig. 1.** Residual stress measurement scheme:  
1 – mini socket; 2 – unloaded column of material

Деформации бетона на поверхности конструкции диафрагмы определяли с помощью петлевых проволочных тензорезисторов на бумажной основе с длиной базы 50 мм, номинальным сопротивлением 400 Ом. Обоснованность применения датчиков данного типа объясняется возможностью непосредственной регистрации деформаций на поверхности конструкции с высокой точностью измерения деформаций.

Тензорезисторы на бетонную поверхность наклеивали до проведения испытаний. Бетонную поверхность очищали щеткой от пыли и грязи, зачищали наждачной бумагой, выявленные раковины и поверхностные трещины заделывали цементным раствором. Подготовленную поверхность обезжировали ацетоном, просушивали. С целью закрепления поверхностного слоя материала и образования промежуточного клеевого слоя, повышающего адгезию, места наклейки грунтовали клеем БФ-2 путем нанесения 2-3 слоев с сушкой каждого слоя в течение 30-40 мин. Сушка наклеенных тензорезисторов производилась до полного высыхания при температуре 9-12°C и нормальной влажности при помощи тепловой пушки. Компенсационные тензорезисторы были наклеены на бетонную поверхность специально подготовленных бетонных кубов.

Перед началом проведения испытаний проверялась работоспособность регистрирующей аппаратуры, после чего фиксировали нулевые отсчеты всех применяемых измерительных приборов.

Для регистрации показаний тензорезисторов использовали измеритель деформаций цифрового типа ИДЦ-1 с десятью измерительными каналами, имеющий диапазон измерений 0-1999×10ЕОД (1×10<sup>-7</sup>). Измерительные полумосты соединяли с прибором кабелем.

Для перехода от измеренных деформаций к напряжениям использовали зависимость для нелинейных расчетов конструкций, описанную в п. 6.1.19 СП 63.13330.2018 [11]. Для расчета напряжений по предложенной зависимости необходимы исходные данные: класс бетона на сжатие, предельные относительные деформации бетона, модуль упругости бетона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

По результатам проведенного обследования установлено, что толщина монолитных железобетонных диафрагм в среднем составила 31 см.

Прочность бетона, определенная неразрушающими методами, показала, что в среднем она соответствует классу бетона по прочности на сжатие В25 (рис.2).



Рис. 2. Определение прочности бетона  
Fig. 2. Determination of concrete strength

Электроманнитным методом и по отдельным вскрытиям защитного слоя бетона установлено, что вертикальное армирование выполнено из стержневой арматуры периодического профиля Ø18 мм с шагом в среднем 20 см, горизонтальное армирование – из Ø18 мм с шагом в среднем 20 см. Привязка вертикальной арматуры в среднем составила 6,5 см (рис.3).



**Рис. 3.** Вскрытие железобетонной конструкции  
**Fig. 3.** Opening of a reinforced concrete structure

В результате визуального осмотра выявлены усадочные трещины шириной раскрытия до 0,5 мм, что превышает значений, предъявляемых к внешнему виду изделий по ГОСТ 13015- 2012 [6].

По поверхности диафрагм выявлены раковины до 10 мм, высота наплывов до 1 мм, глубина впадин до 1 мм, глубина околос бетона на ребре до 20 мм, что соответствует значениям предъявляемых к качеству бетонной поверхности категории А4 по ГОСТ 13015-2012 [6].

Под коммуникации выполнены отверстия Ø100, 120, 150, 220, 250, 300 мм. В отверстиях более 200 мм перерезана арматура в количестве одного стержня. Диафрагмы находятся в ограниченно-работоспособном состоянии.

Для анализа напряженно-деформированного состояния обследуемых диафрагм, анализа угрозы потери устойчивости и уменьшения несущей способности при выявленных дефектах, необходимо определить напряжения в бетоне тензометрическими исследованиями.

На обследуемых диафрагмах устанавливали 3 минирулетки из тензодатчиков с базами по 50 мм. Отсчеты с тензодатчиков снимали до ослабления и после ослабления сечения. По отсчетам вычисляли относительные деформации бетона (рис.4).



**Рис. 4.** Измерения остаточных напряжений  
**Fig. 4.** Residual stress measurement

Для вычисления степени напряжения в бетоне по полученным относительным деформациям использовали среднюю прочность бетона, определенную тремя методами, по которой определяли класс бетона, модуль упругости бетона, предельные относительные деформации бетона по методике ГОСТ [8]:

- класс бетона по прочности на сжатие В25;

- бетон тяжелый средней плотностью 2260-2350 кг/м<sup>3</sup>;  
 - модуль упругости бетона  $E=300000$  кгс/см<sup>2</sup>;  
 - предельные относительные деформации бетона при сжатии  $\epsilon_{b0}=0,002$ .

Результаты определения напряжений в бетоне диафрагм приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Результаты определения напряжения в бетоне  
**Table 1.** Results of stress detection in concrete

Маркировка мест определения напряжения в бетоне	Напряжение в бетоне в кгс/см <sup>2</sup> («-» - сжатие; «+» - растяжение)	Нормативное сопротивление бетона по прочности на осевое сжатие в кгс/см <sup>2</sup>	Нормативное сопротивление бетона по прочности на осевое растяжение в кгс/см <sup>2</sup>
Диафрагма 1, точка №1	-19,91	-185	+15,5
Диафрагма 1, точка №2	-5,06	-185	+15,5
Диафрагма 1, точка №3	-32,83	-185	+15,5
Диафрагма 2, точка №1	-25,37	-185	+15,5
Диафрагма 2, точка №2	-11,23	-185	+15,5
Диафрагма 2, точка №3	-46,12	-185	+15,5
Диафрагма 3, точка №1	-83,54	-185	+15,5
Диафрагма 3, точка №2	-20,75	-185	+15,5
Диафрагма 3, точка №3	-58,92	-185	+15,5

Как видно из данных табл. 1, разброс напряжений в бетоне для диафрагмы 1 составляет – 15,4%, для диафрагмы 2 – 24,3%, для диафрагмы 3 – 24,8%

## ВЫВОДЫ

1. На момент обследования напряженно-деформированное состояние диафрагм характеризуется «сжатием», а главные сжимающие напряжения не превышают нормативного сопротивления бетона по прочности на осевое сжатие.

2. Диафрагмы находятся в ограниченно-работоспособном состоянии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков Н.Н., Елгаев С.Г., Мельников В.А. Новое в способах определения напряженно-деформированного состояния обделок и крепей подземных сооружений // Транспортное строительство. 2008. №1. С 21-23.

2. Запруднов В.И., Серегин Н.Г. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 5. С. 108-115.

3. Монахов А.Д., Яковлев Н.О., Автаев В.В., Котова Е.А. Разрушающие методы определения остаточных напряжений (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. №9 (103). С 95-104.

4. Почтовик Г.Я., Злочевский А.Б., Яковлев А.И. Методы и средства испытания строительных конструкций (тензорезистивные, акустические и с помощью ионизирующих излучений). Под ред. Ю.А. Нилендера. Учеб.пособие для вузов. М., «Выш.школа», 1973 г.,160 с.

5. Топчий Д.В., Климина В.В., Кодзоев М-Б.Х., Халиуллин И.М. Исследование напряженно-деформированного состояния конструкции тензометрическим методом при реализации объектов реновации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Том 9 №2. С. 372-383.

6. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. – М.: Стандартинформ, 2014.

7. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля/ НИИЖБ. – М.: Стандартинформ, 2016.

8. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона/НИИЖБ Госстроя СССР.- М.,1980.

9. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2011.

10. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*» [Текст]. – М.: Минстрой России, 2018. – 117 с.

11. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003». [Текст]. – М.: Минстрой России, 2018. – 143 с.

12. Bogutskiy U.G., Kalafatov D.A., Rodin S.V., Evtushenko S.I. Tenzometric method implementation for determining SSS in combined grillages // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 913(4), 042005.

## REFERENCES

1. Bychkov N.N., Elgaev S.G., Melnikov V.A. New in methods for determining the stress-strain state of linings and supports of underground structures // Transport construction. 2008. №. 1. Pp. 21-23.

2. Zaprudnov V.I., Seregin N.G. Methods and means of monitoring the technical condition of building structures // Lesnoy vestnik. 2019. Vol. 23. №. 5. Pp. 108-115.

3. Monakhov A.D., Yakovlev N.O., Avtaev V.V., Kotova E.A. Destructive methods for determining residual stresses (review) // Proceedings of VIAM. 2021. №. 9 (103). Pp. 95-104.

4. Postman G Y, Yakovlev A I 1973 Methods and means of testing construction structures (tensoresistive, acoustic and with the help of ionizing radiation) (Moscow, High School) 160.

5. Topchiy D.V., Klimina V.V., Kodzoev M-B.Kh., Khaliullin I.M. Study of the stress-strain state of the structure by the tensometric method in the implementation of renovation objects. Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate. 2019. Vol. 9 №. 2. Pp. 372-383.

6. GOST 13015-2012. Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules of acceptance, marking, transportation and storage. – М.: Standartinform, 2014.

7. GOST 22690-2015. Concrete. Determination of strength by mechanical methods of non-destructive testing / NIIZhB. – М.: Standartinform, 2016.

8. GOST 24452-80 Concretes. Methods for determining the prism strength, the module of elasticity and the Poisson coefficient (Moscow, SRB the State Building USSR) 1980.

9. GOST 31937-2011. Buildings and structures. Rules for surveying and monitoring the technical condition (Moscow, StandardInform) 2011.

10. СП 14.13330.2018. Construction in seismic regions. Design standards. Updated edition of SNiP II-7-81\* [Text]. – М.: Ministry of Construction of Russia, 2018.

11. СП 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Aktualized edition of SNiP 52-01-2003. [Text]. – М.: Ministry of Construction of Russia, 2018. – 143 p.

12. Bogutskiy U.G., Kalafatov D.A., Rodin S.V., Evtushenko S.I. Tenzometric method implementation for determining SSS in combined grillages // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 913(4), 042005.

## TENSOMETRIC METHOD FOR DETERMINING SSS IN DIAPHRAGM

Kalafatov D.A.<sup>1</sup>, Bogutskiy U.G.<sup>2</sup>, Rodin S.V.<sup>3</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
Academy of construction and architecture, 181, Kievskaya str., Simferopol.  
E-mail:<sup>1</sup>jafer90@mail.ru; <sup>2</sup>bogutskiyg@mail.ru; <sup>3</sup>sv\_rodin@mail.ru

**Abstract.** The article presents an analysis of the tensometric method for determining the stress-strain state of reinforced concrete diaphragms. The technical condition and degree of reliability of supporting structures are analyzed, the values of stresses in concrete and the normative resistance of concrete in terms of axial compression and tensile strength are obtained and compared.

**Subject:** stress-strain state of reinforced concrete diaphragms of an unfinished construction object.

**Materials and methods:** Materials for this article were obtained during the survey of the object of construction in progress. The determination of stresses is based on the determination of strains by electrotensometric methods, namely the "stress relief" method.

**Results:** based on the results of the study, the stresses in concrete of the most loaded stiffening diaphragms were obtained and compared with the normative resistances of concrete.

**Conclusions:** the established stress-strain state of the diaphragm is characterized by "compression", the main compressive stresses do not exceed the normative resistance of concrete in terms of axial compressive strength. The category of the technical condition of the building has been established, recommendations have been proposed to eliminate the identified defects in order to continue work on the reconstruction of the building.

**Keywords:** diaphragms, construction, concrete, stresses, inspection, tensometry, inspection, defects.

### Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 621.311:9

#### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ МИКРОТЕКСТУРИРОВАНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОБЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Ягьяев<sup>1</sup> Э.Э., Велиляев<sup>2</sup> С.М., Бекиров<sup>3</sup> Э. А.

ГБОУВО РК КИПУ имени Февзи Якубова;  
295015, Республика Крым, г. Симферополь, пер. Учебный, д.8  
Институт «Академия строительства и архитектуры»  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,  
E-mail: <sup>1</sup>elmar1875@gmail.com; <sup>2</sup>zondaimehokage7@mail.ru; <sup>3</sup>bekirov.e.a@cfuv.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты эксперимента по обработке поверхности лазером с целью повышения эффективности поглощения солнечной энергии. Произведен анализ существующих материалов, применяемых при производстве листовых поглощающих адсорберов плоских солнечных коллекторов. Произведен эксперимент по обработке методом лазерной абляции пластины из технически чистого алюминия марки А5М. Произведено исследование полученной морфологии поверхности. На экспериментальной установке, имитирующей солнечное излучение изучено влияние проведенного микротекстурирования на эффективность поглощения энергии пластинами с различной степенью обработки, проведен анализ потенциала применения технологии при производстве установок малой и средней мощности

**Предмет исследования:** поглощающая поверхность солнечных коллекторов, в частности алюминиевых, исследование влияния лазерной обработки, в связи со слабой проработанностью данного вопроса

**Материалы и методы:** В работе использована экспериментальная лазерная установка «Fmark-100 NS» для получения регулярных микрорельефов на поверхностях поглощающих пластин методом лазерной абляции, трехмерная топография увеличенной микротекстурированной области проанализирована программой TopView, фотографии микротекстур были получены на электронном микроскопе Levenhuk DTX50, замер изменения температуры осуществлялся тепловизором Testo 870-1 и цифровым мультиметром с термпарой. Методами исследования выступают – литературно-аналитический, статистический, экспериментальный.

**Результаты:** Прирост поглощенной энергии между необработанной пластиной, и обработанной с наименьшими параметрами в данном эксперименте составил 25 %. В ходе экспериментальной работы, было установлено, что нанесение микрорельефа на поверхность алюминиевой пластины позволяет повысить эффективность поглощения излучения до 86,36 % за счет многократного отражения, и следовательно, поглощения большего процента энергии, попадающей на поверхность.

**Выводы:** Нанесение регулярного микрорельефа на поверхность пластин адсорбера методом лазерной абляции позволяет улучшить условия поглощения солнечной энергии, увеличить адгезию с селективными поверхностями, либо применяться без их использования, также создается условие повышения стойкости покрытия в различных условиях. В дальнейшей работе необходимо провести экспериментальные исследования по анализу стойкости полученной поверхности, в зависимости от размеров регулярных микрорельефов полученных модифицированием поверхности лазерной абляцией. Определение оптимальных размеров микрокарманов для поверхности солнечного коллектора.

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, адсорбер, лазерная абляция, поглощение.

#### ВВЕДЕНИЕ

Применение солнечных коллекторов различных конструкций, как для частного использования, так и для предприятий различного уровня на данный момент слабо развито на территории Крыма. Одним из главных факторов является относительная дороговизна предлагаемых готовых решений. Важное место в этом занимают применяемые для изготовления материалы – в частности, медь и селективные покрытия адсорберов. При этом перспективы и преимущества применения устройств данного типа в сфере сельского достаточно высоки. При оптимальном балансе требуемой мощности и количества установок, в

совокупности с решениями по снижению стоимости производства возможно достичь приемлемого уровня эффективности.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В конструкции солнечных коллекторов применяется 2 вида металлов в изготовлении адсорбера – алюминий и медь (рисунок 1). Показатели теплопроводности данных материалов являются одними из наиболее высоких среди металлов (таблица 1), уступая только драгметаллам – серебру и золоту.

**Таблица 1.** Коэффициент теплопроводности металлов  
**Table 1.** Thermal conductivity coefficient of metals

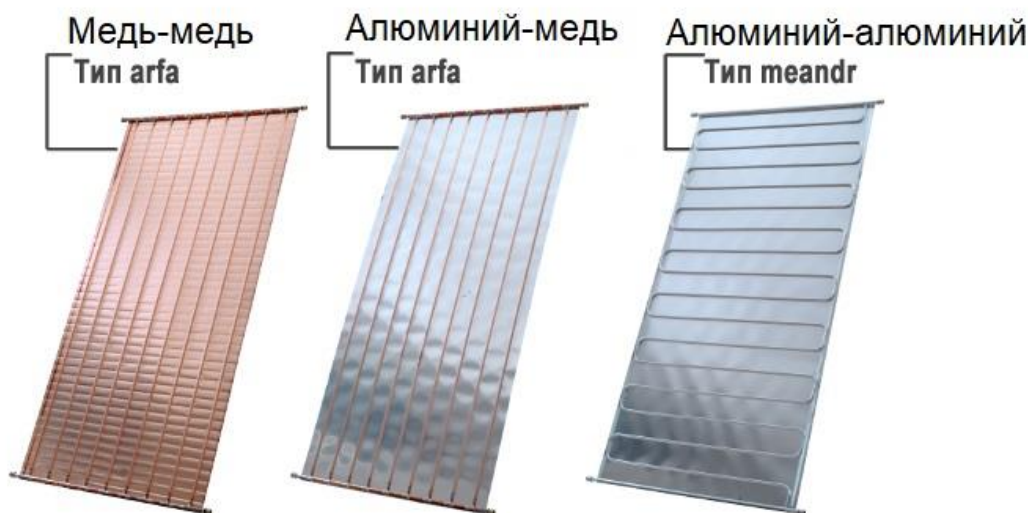
Металл	Вт/(м·К)
Алюминий	209,3
Бронза	47-58
Железо	74,4
Золото	312,8
Латунь	85,5
Медь	389,6
Платина	70
Ртуть	29,1
Серебро	418,7
Сталь	45,4
Свинец	35

При этом, имея превосходство в 1,86 раза по данному критерию, стоимость медного сырья в среднем в 6-7 раз выше алюминия [1], поэтому целесообразна компенсация разницы в эффективности адсорбера применением больших площадей, покрываемых коллекторами, с одновременным снижением стоимости установки [2].

Для повышения эффективности солнечных коллекторов, как отмечают П.С. Хужаев, Р.С. Назаров, А.Б. Алимардонов, наравне с прочими факторами необходимо повышать эффективность приемных поверхностей энергетических установок [3]. Повышение эффективности прямого

преобразования потока солнечной радиации в тепловую энергию может быть достигнута за счет использования абсорберов с высокой степенью поглощения [4-10]. Положительное влияние на поглощающую способность микроструктур и сложных рельефов на поверхности металлов были отмечены в работах В.С. Газалова, А.В. Брагинца, Э.Э. Ягьяева, С.Н. Акимова, М.О. Узбекова и А.Г. Тухтасинова [9-12].

В данной работе представлена методика повышения поглощающей способности поверхности адсорбера с применением технологии лазерного микротекстурирования.



**Рис. 1.** Типы абсорберов плоских солнечных коллекторов  
**Fig. 1.** Types of flat plate solar collector absorbers

**Цель работы:** Повышение поглощающей способности пластин из алюминиевого сплава путём модифицирования поверхности облучением лазерными импульсами наносекундной длительности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1. Лазерная обработка поверхности пластин

Сущность предлагаемой нами технологии обработки поверхности адсорбера солнечного коллектора заключается в создании микроструктурного рельефа на поверхности

алюминиевой пластины, что приведет к тому, что луч света, попадая на поверхность адсорбера, попадает в «карман», образованный микроструктурами из нескольких отражающих плоскостей, претерпевает множественное отражение. Таким образом, с каждым последующим отражением, луч света отдает все больше своей энергии поверхности металла, разогревая его.

Для оценки эффективности предложенного технического решения повышения поглощающей способности поверхности металла нами было выполнено тринадцать образцов пластин с различными микроструктурами (таблица 2).

Регулярные микрорельефы на поверхностях поглощающих пластин методом лазерной абляции были получены на экспериментальной установке «Fmark-100 NS» с волоконным иттербиевым лазером, IPG Photonics. Максимальная энергия в импульсе – 5 мДж, рабочая длина волны

излучения – 1,064 мкм, максимальная мощность – 100 Вт, длительность импульсов 4-200 нс, частота импульса в 20 – 200кГц.

Режимы лазерной абляции пластин для проведения экспериментальных исследований представлены в таблице 2. Обработка лазерным излучением наносекундной длительности проводилась в различных средах, в воздухе и с подачей азота в зону обработки с массовым расходом 0,04 Па.

В таблице 3 показаны поверхности пластины из материала А5М после получения микротекстур методом лазерной абляции. Обработанные поверхности исследованы при помощи металлографического микроскопа модели 4XB при увеличении в 200 раз. Трехмерная топография увеличенной микротекстурированной области проанализирована программой TopView.



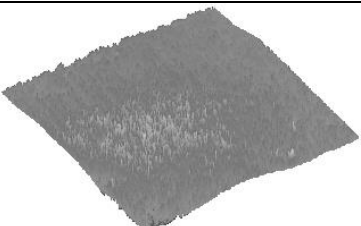
**Таблица 2.** Режимы лазерной абляции пластин



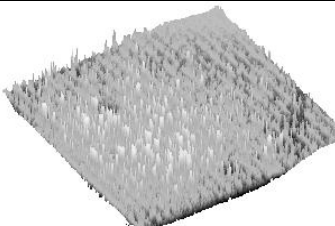


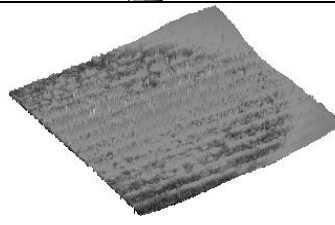


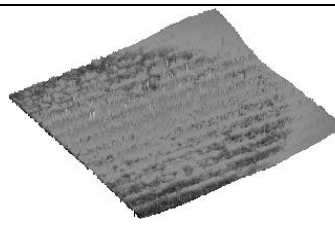


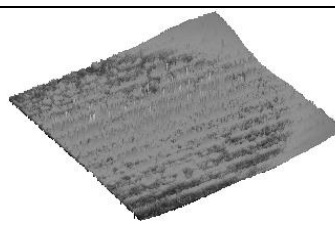


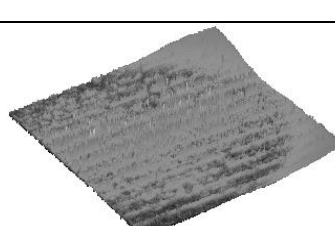


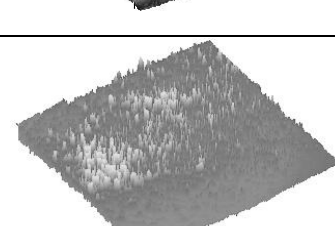


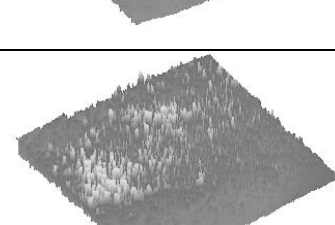


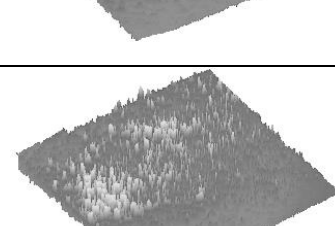
**Table 2.** Modes of laser ablation of plates



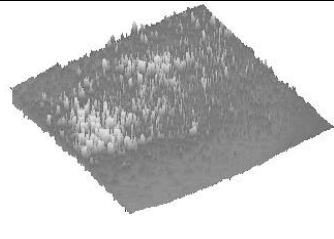


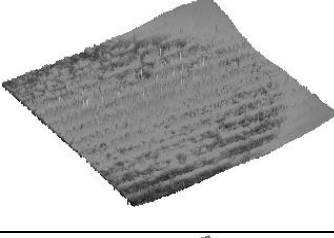


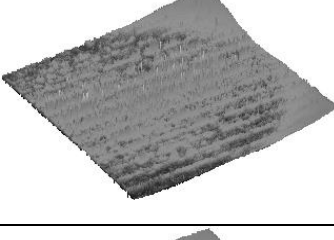


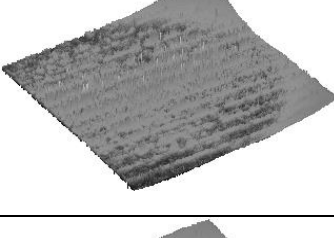


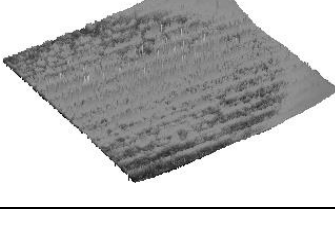
№	Количество линий на мм	Частота обработки кГц	Мощность импульса Р, Вт	Скорость обработки V, мм/с	Направление линий обработки
1	20	40	25	200	параллельно
2	20	40	35	200	параллельно
3	20	40	45	200	параллельно
4	20	40	55	200	параллельно
5	20	40	65	200	параллельно
6	20	40	35	200	перекрестно
7	20	40	45	200	перекрестно
8	20	40	55	200	перекрестно
9	20	80	65	200	перекрестно
10	30	100	35	200	параллельно
11	30	100	45	200	параллельно
12	30	100	55	200	параллельно
13	30	100	65	200	параллельно

**Таблица 3.** Морфология поверхности пластин из А5М после лазерной абляции

**Table 3.** Surface morphology of A5M plates after laser ablation

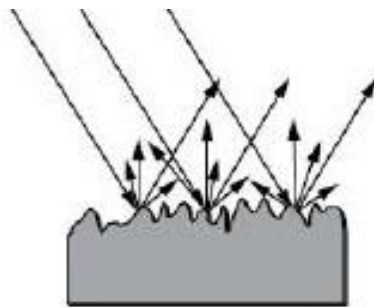
№	Морфология поверхности после лазерной абляции без увеличения	Морфология поверхности после лазерной абляции при увеличении x200	Трехмерная топография поверхности	Направление нанесения микрострук-
1	2	3	4	5
Не обработанный				не обработанное

1	2	3	4	5
1				парал- лельное
2				парал- лельное
3				парал- лельное
4				парал- лельное
5				парал- лельное
6				пере- крестное
7				пере- крестное
8				пере- крестное

1	2	3	4	5
9				перекрестное
10				параллельное
11				параллельное
12				параллельное
13				параллельное

Реализация данной технологии при производстве гелиоколлектора решает поставленную перед ним задачу следующим образом: концентрация и поглощение светового потока происходит за счет получаемой шероховатости поверхности образца в результате

обработки, а не поглощения черного тела. Таким образом, луч, падающий под любым углом (рис. 2), в виду многократных отражений полностью поглощается поверхностью абсорбера гелиоколлектора, тем самым система становится более энергоэффективной.



**Рис. 2.** Часть тепловоспринимающей поверхности абсорбера с визуализированным ходом солнечного луча и энергетической составляющей при многократных отражениях

**Fig. 2.** Part of the heat-receiving surface of the absorber with the visualized course of the sunbeam and the energy component during multiple reflections

Представленное техническое решение обладает хорошим потенциалом для дальнейшего развития гелиоколлекторов в целом, оно включает в себе как раз те параметры, которые так необходимы и востребованы в современных условиях существования гелиотехники.

При попадании излучения на активную часть поверхности гелиоколлектора возникает многократное отражение между множеством ребер специальной формы (рис. 3), причем одновременно с этим происходят многократные отражения между отдельными элементами каждой из  $n$  плоскостей.

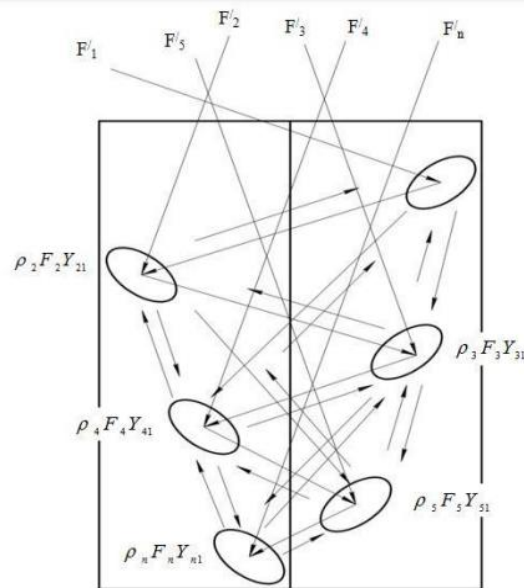


Рис. 3. Оребренная поверхность гелиоколлектора как объект с многократными отражениями  
 Fig. 3. Ribbed surface of a solar collector as an object with multiple reflections

**2. Проведение эксперимента по анализу изменения поглощательной способности пластин после обработки.**

Эксперимент проведен в установке, имеющей отражающую поверхность в замкнутом пространстве с расположенным внутри источником светового излучения и выводом под размер обработанной поверхности пластин. В качестве

источника излучения была использована лампа накаливания мощностью 500 Вт (Рис. 2). Контрольное время облучения пластин – 30 с. Замер изменения температуры осуществлялся тепловизором Testo 870-1 и цифровым мультиметром с термопарой. Полученные результаты приведены на рис. 6.

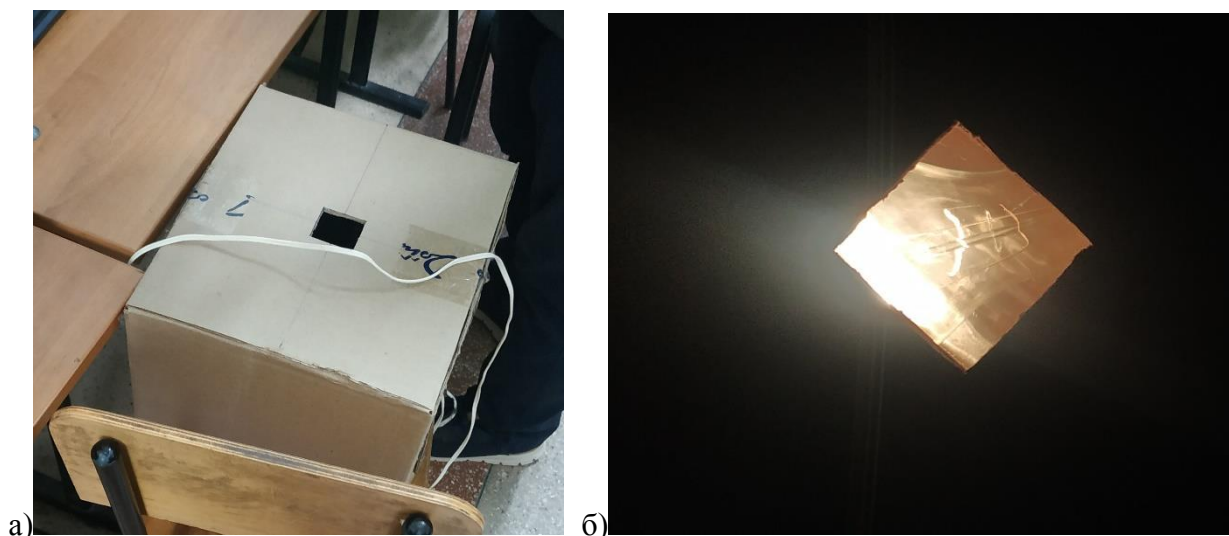
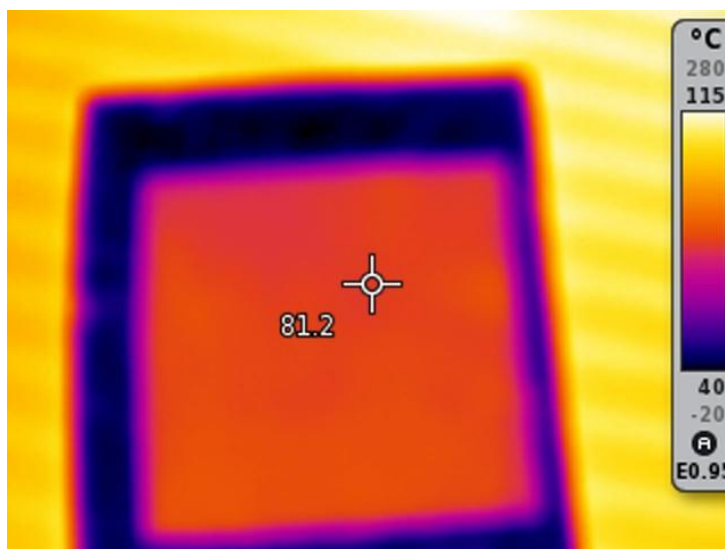
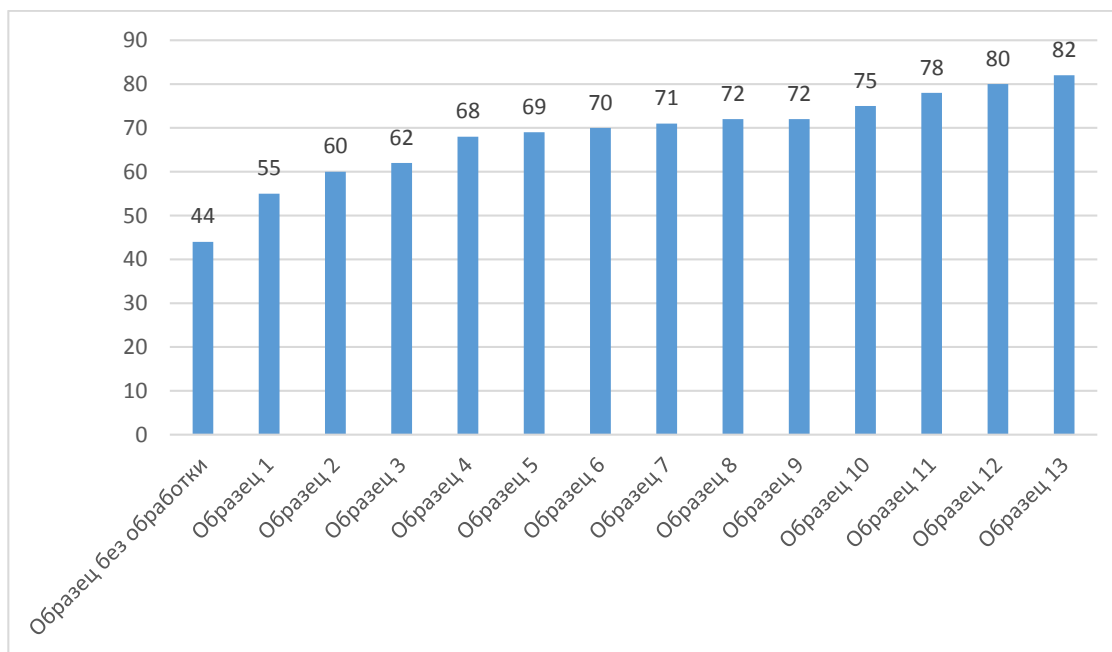


Рис. 4. Установка для определения поглощения энергии пластинами: внешний вид (а), смотровое окно (б)  
 Fig. 4. Installation for determining the energy absorption of plates: appearance (a), viewing window (b)



**Рис. 5.** Термография образца после поглощения энергии в течение 30 с  
**Fig. 5.** Thermography of the sample after energy absorption for 30 s



**Рис. 6.** Температура (°C) образцов при поглощении ими одного количества энергии за 30 с  
**Fig. 6.** Temperature (°C) of samples during absorption them one amount of energy in 30

Так как, условия эксперимента организованы таким образом, что мы можем утверждать, что поток энергии неизменен для всех образцов, эффективность их поглощающей способности можем оценить по росту температуры за фиксированный промежуток времени.

Как видно из полученных данных, повышение поглощающей способности достигнуто. Прирост поглощенной энергии между необработанной пластиной, и обработанной с наименьшими параметрами в данном эксперименте составил 25%. При этом, образец № 13 показал практически двукратный прирост поглощенной энергии, что показывает эффективность предложенного метода. По всему диапазону произведенных измерений приращение сохраняется на одном уровне. Следующим этапом является анализ полученных результатов с селективными покрытиями.

## ВЫВОДЫ

Нанесение регулярного микрорельефа на поверхность пластин адсорбера методом лазерной абляции позволяет улучшить условия поглощения солнечной энергии, увеличить адгезию с селективными поверхностями, либо применяться без их использования, также создается условие повышения стойкости покрытия в различных условиях.

В ходе экспериментальной работы, было установлено, что нанесение микрорельефа на поверхность алюминиевой пластины позволяет повысить эффективность поглощения излучения до 86,36% за счет многократного отражения, и следовательно, поглощения большего процента энергии, попадающей на поверхность.

В дальнейшей работе необходимо провести экспериментальные исследования по анализу стойкости полученной поверхности, в зависимости от размеров регулярных микрорельефов полученных модифицированием поверхности лазерной абляцией. Определение оптимальных размеров мирокарманов для поверхности солнечного коллектора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Центральный металлический портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://metallischekiy-portal.ru/index-cen-lme> (дата обращения: 11.07.2022).
2. Амерханов Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / Р.А. Амерханов. – Москва: Колос-Пресс, 2003. – 532 с.
3. Хужаев П.С., Назаров Р.С., Алимардонов А.Б. Повышение эффективности солнечного коллектора / П.С. Хужаев, Р.С. Назаров, А.Б. Алимардонов // Бюллетень науки и практики. 2017. №3 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-solnechnogo-kollektora> (дата обращения: 13.07.2022).
4. Кувшинов В.В. Экспериментальные исследования приемных поверхностей плоских солнечных коллекторов / В.В. Кувшинов, Л.М. Абдали, Н.В. Морозова, Б.Л. Крит, Ф.М. Аль-Руфай, Х.А. Исса // ЭОМ. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-priemnyh-poverhnostey-ploskih-solnechnyh-kollektorov> (дата обращения: 13.07.2022).
5. Газалов В.С. Повышение эффективности поглощения энергии солнечного излучения разветвленной поверхностью солнечного коллектора / В.С. Газалов, А.В. Брагинец // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 3(8). – С. 119-123.
6. Пахомов В.И. Повышение эффективности поглощения энергии солнечного излучения поверхностью солнечного коллектора как объектом с многократными отражениями / В.И. Пахомов, В.С. Газалов, А.В. Брагинец // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: сб. науч. докладов Междунар. науч.-техн. конференции «Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий» (г. Москва, ФГБНУ ВИМ, 17-18 сентября 2014 г.). – М.: ФГБНУ ВИМ, 2014. – С.372-376.
7. Абдиев Х. Структура и принципы солнечных коллекторов / Х. Абдиев, Б. Умаров, Д. Тоштемиров // НАУКА И СОВРЕМЕННОЕ ОБЩЕСТВО: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ. – 2021. – С. 9-13.
8. Стрельников В.А. Влияние типа тепловоспринимающей поверхности солнечного коллектора на эффективность его работы / В.А. Стрельников, И.О. Швец // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции

с международным участием, Саратов, 15–16 ноября 2018 года / Под редакцией Ф.К. Абдразакова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2018. – С. 310-313.

9. Брагинец А.В. Повышение эффективности поглощения энергии солнечного излучения развитой поверхностью солнечного коллектора / В.С. Газалов, А.В. Брагинец // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 3 (8). – С. 119-123.

10. Брагинец Андрей Валерьевич. Совершенствование энергосберегающей гелиоэлектрической системы горячего водоснабжения животноводческих объектов: диссертация ... кандидата Технические науки: 05.20.02 / Брагинец Андрей Валерьевич; [Место защиты: ФГБОУ ВО Донской государственной аграрный университет], 2017. – 203 с.

11. Yagyaev Elmar and Akimov Seran. (2020). Improvement of high-speed steel cutting tool production technology using the method of nanostructure generation by laser ablation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 889. 012031. 10.1088/1757-899X/889/1/012031.

12. Узбеков М.О. Тепловая эффективность солнечного воздухонагревательного коллектора с металлическим стружечным абсорбером / М.О. Узбеков, А.Г. Тухтасинов // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2020. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplovaya-effektivnost-solnechnogo-vozduhonagrevatel'nogo-kollektora-s-metallicheskim-struzhechnym-absorberom> (дата обращения: 13.07.2022).

## REFERENCES

1. Central metal portal [Electronic resource]. – URL: <https://metallischekiy-portal.ru/index-cen-lme> (date of access: 07/11/2022).
2. Amerkhanov R.A. Optimization of agricultural power plants using renewable energy / R.A. Amerkhanov. - Moscow: Kolos-Press, 2003. - 532 p.
3. Khuzhaev P.S., Nazarov R.S., Alimardonov A.B. Improving the efficiency of the solar collector / P.S. Khuzhaev, R.S. Nazarov, A.B. Alimardonov // Bulletin of Science and Practice. 2017. No. 3 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-solnechnogo-kollektora> (date of access: 07/13/2022).
4. Kuvshinov V.V. Experimental studies of receiving surfaces of flat solar collectors / V.V. Kuvshinov, L.M. Abdali, N.V. Morozova, B.L. Crete, F.M. Al-Rufai, H.A. Issa // EOM. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-priemnyh-poverhnostey-ploskih-solnechnyh-kollektorov> (Date of access: 07/13/2022).
5. Gazalov V.S. Improving the efficiency of absorption of solar radiation energy by a branched surface of a solar collector / V.S. Gazalov, A.V. Braginet // Innovations in agriculture. - 2014. - No. 3(8). - S. 119-123.
6. Pakhomov V.I. Improving the efficiency of absorption of solar radiation energy by the surface of a solar collector as an object with multiple reflections / V.I. Pakhomov, V.S. Gazalov, A.V. Braginet // Innovative

development of the agro-industrial complex of Russia based on intelligent machine technologies: Sat. scientific reports of the International sci.-tech. conference "Innovative development of the agro-industrial complex of Russia based on intelligent machine technologies" (Moscow, FGBNU VIM, September 17-18, 2014). – M.: FGBNU VIM, 2014. – Pp.372-376.

7. Abdiev H. Structure and principles of solar collectors / H. Abdiev, B. Umarov, D. Toshtemirov // SCIENCE AND MODERN SOCIETY: TOPICAL ISSUES, ACHIEVEMENTS AND INNOVATIONS. – 2021. – Pp. 9-13.

8. Strelnikov V.A. Influence of the type of heat-receiving surface of a solar collector on the efficiency of its work / V.A. Strelnikov, I.O. Shvets // Problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the VIII National Conference with international participation, Saratov, November 15–16, 2018 / Edited by F.K. Abdrazakov. – Saratov: Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova, 2018. - S. 310-313.

9. Braginets A.V. Improving the efficiency of absorption of solar radiation energy by the developed sur-

face of the solar collector / V.S. Gazalov, A.V. Braginets // Innovations in agriculture. – 2014. – № 3(8). – Pp. 119-123.

10. Braginets Andrei Valerievich. Improvement of the energy-saving solar-electric hot water supply system for livestock facilities: dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 05.20.02 / Braginets Andrey Valerievich; [Place of protection: Don State Agrarian University], 2017. – 203 p.

11. Yagyaev Elmar and Akimov Seran. (2020). Improvement of high-speed steel cutting tool production technology using the method of nanostructure generation by laser ablation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 889. 012031. 10.1088/1757-899X/889/1/012031.

12. Uzbekov M.O. Thermal efficiency of a solar air-heating collector with a metal chip absorber / M.O. Uzbekov, A.G. Tukhtasinov // Journal of Siberian Federal University. Technics and technology. 2020. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplovaya-effektivnost-solnechnogo-vozduhonagrevatel'nogo-kollektora-s-metallicheskim-struzhechnym-absorberom> (date of access: 07/13/2022).

ANALYSIS OF THE METHOD FOR MICROTTEXTURING OF THE ABSORBING SURFACE OF A SOLAR COLLECTOR BY LASER PULSES IRRADIATION.

Yagyaev E.E., Veliliaev S.M., Bekirov E.A.

KIPU named after Fevzi Yakubov;  
295015, Republic of Crimea, Simferopol, lane. Educational, d.8  
V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
E-mail: <sup>1</sup>elmar1875@gmail.com; <sup>2</sup>zondaimehokage7@mail.ru; <sup>3</sup>bekirov.e.a@cfuv.ru

**Abstract.** The article presents the results of an experiment on surface treatment with a laser in order to increase the efficiency of solar energy absorption. The analysis of existing materials used in the production of absorbing sheet adsorbers of flat solar collectors has been carried out. An experiment was carried out on laser ablation processing of a plate made of commercially pure A5M aluminum. The obtained surface morphology was studied. The effect of microtexturing on the efficiency of energy absorption by plates with various degrees of processing was studied on an experimental setup that simulates solar radiation, an analysis was made of the potential for using the technology in the production of low and medium power plants.

**Subject of study.** The absorbing surface of solar collectors, in particular aluminum ones, the study of the effect of laser processing, due to the poor elaboration of this issue

**Materials and Methods.** An experimental Fmark-100 NS laser device was used to obtain regular microreliefs on the surfaces of absorbing plates by laser ablation, the three-dimensional topography of the enlarged microtextured area was analyzed by the ToupView program, microtexture photographs were taken on a Levenhuk DTX50 electron microscope, temperature changes were measured was carried out with a Testo 870-1 thermal imager and a digital multimeter with a thermocouple. The research methods are - literary-analytical, statistical, experimental.

**Results.** The increase in absorbed energy between the untreated plate and the one treated with the lowest parameters in this experiment was 25%. In the course of experimental work, it was found that applying a microrelief to the surface of an aluminum plate makes it possible to increase the efficiency of radiation absorption up to 86.36% due to multiple reflections, and therefore, the absorption of a larger percentage of the energy falling on the surface.

**Conclusions.** The application of a regular microrelief on the surface of the adsorber plates by laser ablation makes it possible to improve the conditions for absorbing solar energy, increase adhesion with selective surfaces, or apply without using them, and also creates a condition for increasing the resistance of the coating under various conditions. In further work, it is necessary to conduct experimental studies on the analysis resistance of the resulting surface, depending on the size of regular microreliefs obtained by surface modification by laser ablation. Determination of the optimal dimensions of the world pockets for the surface of the solar collector.

**Key words:** solar collector, adsorber, laser ablation, absorption.

УДК 628.543

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНЫХ СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ СМЕШЕНИЯ РЕАГЕНТОВ СО СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Урецкий<sup>1</sup> Е.А., Николенко<sup>2</sup> И.В., Мороз<sup>3</sup> В.В.

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие (РУП) Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ» г. Витебск, Пушкина, 6, Республика Беларусь. 210602. e-mail: euretsky@yandex.by

<sup>2</sup>Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского В.И., 254493, Республика Крым, г.Симферополь, ул Киевская 181, e-mail: energia-09@mail.ru

<sup>3</sup>Учреждение образования «Брестский государственный технический университет» 224017 Республика Беларусь г.Брест, ул.Московская, 267, e-mail: vovavall@mail.ru

**Аннотация.** Проведено исследование эффективности работы малогабаритных статических смесителей. Разработаны малозатратные ресурсосберегающие установки для предварительного смешения реагентов со сточными водами и эффективного проведения процесса хлопьеобразования. При широком спектре расходов сточных вод и реагентов, они приближаются к идеальным смесителям, обеспечивая степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод не менее 95%.

**Предмет исследования** Эффективность работы малогабаритных статических смесителей для предварительного смешения реагентов со сточными водами и проведения процесса хлопьеобразования.

**Материалы и методы исследования.** В работе проведены экспериментальные исследования малогабаритных статических смесителей для предварительного смешения реагентов со сточными водами и проведения процесса хлопьеобразования. При проведении исследований определены основные технологические параметры для малогабаритных статических смесителей, обеспечивающих максимальную степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод.

**Результаты.** Для разработки малогабаритных статических смесителей, используемых в процессах очистки сточных вод, выполнены экспериментальные исследования по проведению предварительного смешения реагентов и сточных вод и процессов хлопьеобразования. Достигнута степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод при широком спектре расходов сточных вод и реагентов не менее 95%.

**Выводы.** По результатам проведенных опытно-экспериментальных исследований на малогабаритных статических смесителях установлено, что использование их при очистке сточных вод обеспечивает многократное снижение металло- и энергоёмкости традиционно применяемой технологической аппаратуры для предварительного смешения реагентов и хлопьеобразования

**Ключевые слова.** pH, химический реактор, механические мешалки, смеситель, гидродинамика, структура потоков, микроперемешивание, технологические трубопроводы, реагенты.

### ВВЕДЕНИЕ

Перемешивание - одна из технологических операций, широко применяемых в химической промышленности для осуществления различных физических процессов и служащая для выравнивания полей концентраций и температур, и зачастую определяющая скорость протекания этих процессов, поскольку в этом случае оказывает влияние не только на скорость процесса, но и на качество очистки.

В химической промышленности широко используют аппараты с механическими мешалками [1, 2, 3, 4].

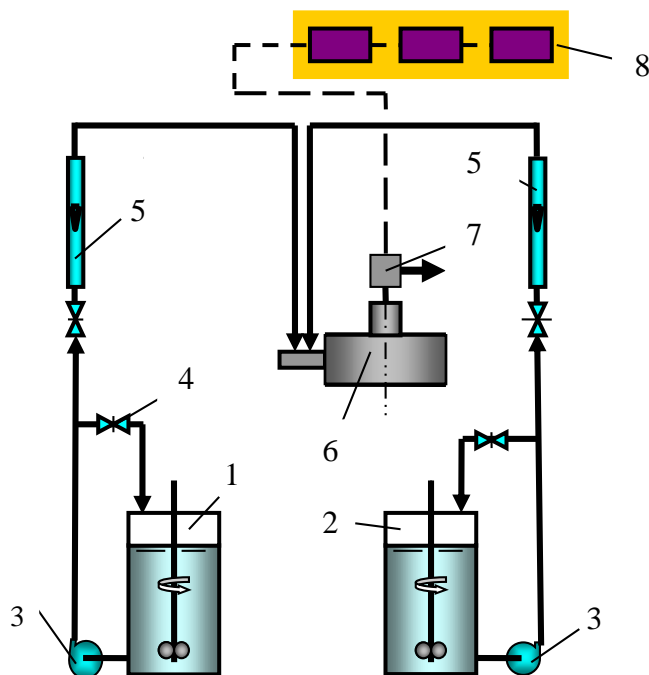
Состояния предварительной смешанности можно добиться в таких аппаратах с помощью специальных мер [5, 6, 7], но при этом необходимо обеспечить высокие скорости вращения мешалки, что приводит к значительному усложнению конструкции. В связи с этим важное значение приобретают малые по объёму смесители, в

которых для перемешивания реагентов используется кинетическая энергия потоков.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Широкое использование статических смесителей в промышленности ограничено из-за отсутствия методических материалов по их расчёту. Теоретическое описание перемешивания реагентов представляет значительные трудности, а систематических экспериментальных исследований пока недостаточно. Поэтому на базовом предприятии Брестском электромеханическом заводе (БЭМЗ) для проведения исследований по работе статических смесителей была смонтирована установка, показанная на рис. 1.

Установка состоит из статического смесителя непрерывного действия, в который из ёмкостей 1 и 2 с помощью насоса 3 подаются растворы реагентов (едкого натрия и ацетилацетата). Расход реагентов регулируется с помощью вентилей 4 и регистрируется с помощью ротаметра 5.



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки (а.с. на изобретение № 160616)  
 1, 2 – ёмкости для реагентов; 3 – насосы; 4 – вентили; 5 – ротаметры; 6 – смеситель;  
 7 – кондуктометрическая ячейка; 8 – система для замера электропроводности  
**Fig.1.** Scheme of the experimental setup (author's certificate for invention No. 160616)  
 1, 2 – containers for reagents; 3 – pumps; 4 – valves; 5 – rotameters; 6 – mixer;  
 7 – conductometric cell; 8 – system for measuring electrical conductivity

Растворы реагентов поступают в смеситель, перемешиваются и вступают в химическое взаимодействие, а затем проходят кондуктометрическую ячейку 7 и поступают в сборную ёмкость, из которой периодически сливаются. Электропроводность смеси, а вместе с ней и степень превращения реагентов регистрируются с помощью измерительной системы. Параллельно с замером электропроводности брали пробы реакционной массы. Степень превращения определялась методом потенциометрического титрования. Температура смеси в аппарате фиксировалась с помощью термомпары и потенциометра.

Смеситель представляет собой аппарат объёмом 110 см<sup>3</sup>. Он состоит из цилиндрического корпуса диаметром 64 мм, закрытого с обеих сторон крышками и снабжённым тангенциальным патрубком и двумя штуцерами для подачи реагентов. Для вывода смеси используется осевой отводящий патрубок. Перемешивание реагентов в статическом смесителе осуществляется за счёт турбулизации потока во всём объёме смесителя.

Эффективность перемешивания в аппарате оценивалась как на макро- так и на молекулярном уровне, т.е. микроперемешиванию.

Структура потоков в аппарате исследовалась путём анализа кривых отклика на импульсное возмущение. По одному из штуцеров в аппарат подавалась дистиллированная вода с постоянным расходом. Затем в поток с помощью шприца впрыскивался раствор хлористого натрия.

Одновременно момент впрыска отмечался на ленте самописца. Электропроводность выходящего потока регистрировалась с помощью измерительной системы и записывалась на ленте самописца. Измерения прекращались, когда уровень электропроводности падал до значений, соответствующих дистиллированной воде. Был произведен перевод кривых РВП в безразмерные координаты:

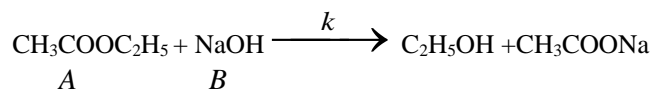
$$\Theta = \frac{t_i}{\tau}$$

$$C(\Theta_i) = \bar{\tau} \frac{C(t_i)}{\sum C(t_i) \Delta t}$$

$$\bar{\tau} = \frac{\sum C(t_i) t_i}{\sum C(t_i)}$$

где  $\Theta_i$  – безразмерное время;  $C(\Theta_i)$  – безразмерная координата;  $C(t_i)$  – текущее значение концентрации индикатора на выходе из аппарата;  $\Delta t_i$  – шаг по времени между соседними значениями концентраций индикатора.

Затем вычислялись значения интегральной функции РВП. Полученные данные представляли в полулогарифмических координатах. Для исследования процесса микроперемешивания реагентов использовалась известная и хорошо изученная реакция омыления ацетата.



Данная реакция является гомогенной реакцией второго порядка, скорость которой описывается следующим выражением:

$$\frac{dC_A}{dt} = -k \cdot C_A \cdot C_B$$

Рассматривались возможность применения малых концентраций химических реагентов ( $C_0 = 0,01 - 0,25$  моль/л), а также протекание химического превращения при комнатных температурах обеспечили широкое применение

данной реакции для изучения процесса перемешивания в химических реакторах. Константа скорости данной реакции определяется выражением:

$$K = 2,365 \cdot 10^7 \cdot \exp\left(-\frac{11400}{RT}\right), \text{ дм}^3/\text{моль}\cdot\text{с}$$

При изучении микроперемешивания использовали следующую методику: в ёмкости заливали растворы реагентов с требуемой начальной концентрацией, затем тарировали ротаметры по каждому потоку, после чего подавали оба реагента через смеситель. На выходе через определённые интервалы времени брали пробы реакционной массы. Реакция в пробе останавливалась раствором щавелевой кислоты, избыток которой потом оттитровывался раствором щёлочи на приборе ЭВ-74. При этом каждый эксперимент повторялся 2...3 раза, а расчёт степени превращения вещества  $X_B$  осуществлялся как

среднее в нескольких (трёх-четырёх) параллельных опытах, что позволило достигнуть точности 0,5 – 1,0 % по  $X_B$ .

В опытах варьировались начальные и конечные концентрации реагентов, расходы и соотношения реагентов, скорости истечения реагентов из сопел, температура смеси.

При любых технологических условиях соблюдалось требование, что средние значения концентраций реагентов по всему объёму смесителя равны между собой  $C_{A0} = C_{B0}$ . Степень превращения веществ  $X_B$  по результатам титрования вычислялась по формуле

$$X_B = 1 - \frac{C_B}{C_{B0}} = 1 - \frac{2n \cdot V_r \cdot C_r - V_m \cdot C_m}{C_{Bf} \cdot n \cdot V_{пр}}$$

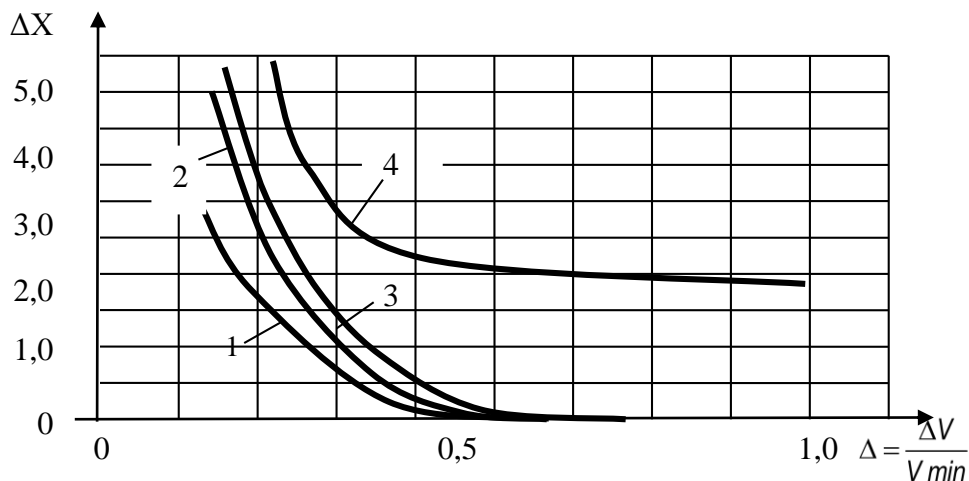
где  $V_{пр}$  – объём пробы после добавления в щавелевую кислоту реакционной массы;  $V_r$  – объём раствора, отбираемого на анализ;  $V_m$  – объём раствора щёлочи, пошедшей на титрование;  $C_m$  – концентрация раствора щёлочи, применяемая для титрования;  $C_r$  – концентрация щавелевой кислоты, применяемой для остановки реакции в пробе;  $n$  – доля объёма пробы, взятой на титрование.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 2 и рис. 3.

Результаты исследований показали, что во всём диапазоне изменения расходов потоков реагентов

структура потоков в статическом смесителе соответствует модели идеального перемешивания.

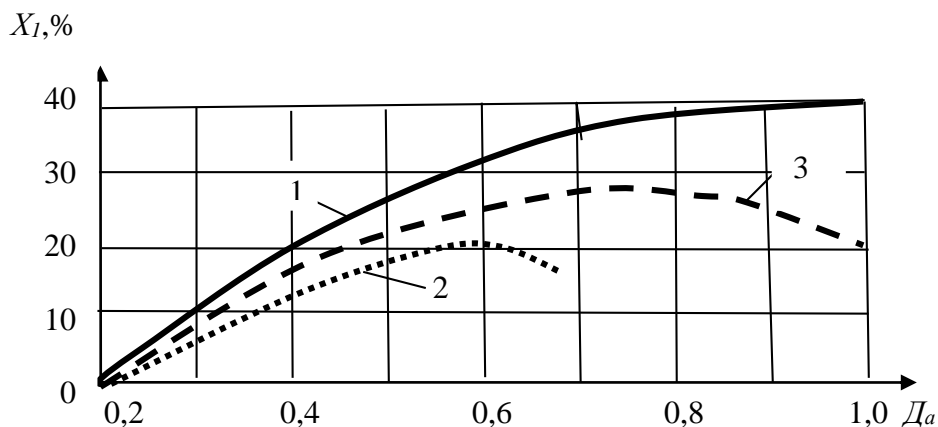
Таким образом, с точки зрения структуры потоков, изменение нагрузки не сказывается на характеристиках аппаратов. Исследования на модельной реакции в том же диапазоне изменения нагрузок показали, что эффективность работы в данном случае оценивалась по степени превращения вещества  $X_B$ , достигаемой на выходе аппарата. Максимальная степень превращения соответствовала вычисленному по интегралу Данкверста.



**Рис. 2.** Зависимость отклонения экспериментальной степени превращения от теоретической (X) от относительной скорости истечения струй  
 1 –  $Da = 0,2$ ; 2 –  $Da = 0,4$ ; 3 –  $Da = 0,5$ ; 4. –  $Da = 0,6$ .

**Fig. 2.** Dependence of the deviation of the experimental degree of transformation from the theoretical one (X) on the relative velocity of the jets

1 –  $Da = 0,2$ ; 2 –  $Da = 0,4$ ; 3 –  $Da = 0,5$ ; 4. –  $Da = 0,6$ .



**Рис. 3.** Результаты экспериментальных исследований зависимости степени превращения от числа Дамкеллера

1 – ( $CBo = 0,200$  моль/дм<sup>3</sup>; 2 –  $CBo = 0,127$  моль/дм<sup>3</sup>) – равные расходы, расчётные для модели идеального перемешивания;

3 –  $CBo = 0,200$  моль/дм<sup>3</sup> – разные расходы.

**Fig. 3.** Results of experimental studies of the dependence of the degree of transformation on the Damköhler number

1 - ( $CBo = 0.200$  mol/dm<sup>3</sup>; 2 -  $CBo = 0.127$  mol/dm<sup>3</sup>) - equal flow rates calculated for the ideal mixing model; 3 -  $CBo = 0.200$  mol/dm<sup>3</sup> - different costs.

$$X_B = 1 - \int_0^{\infty} \frac{e^{-\Theta} d\Theta}{1 + D_a \cdot \Theta}$$

$$\Delta = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{min}}$$

где  $\Theta$  – относительное время;  $Da = k \cdot C_0 \cdot \bar{\tau}$  – число Дамкелера;  $\bar{\tau}$  – среднее время пребывания.

Число (критерий) Дамкелера  $D_a$  – безразмерная величина, которая определяется отношением скорости протекания химической реакции со скоростью транспортных явлений, происходящих в системе. Анализ результатов, представленных на рис. 2 показывает, что при увеличении  $D_a$  до 0,5, эффективность работы смесителя возрастает при любых соотношениях расходов реагентов. При дальнейшем увеличении числа  $D_a$  степень превращения, а следовательно, эффективность падает.

Значительное влияние на эффективность смешения также оказывает соотношение скоростей истечения струй из сопел:

где  $V_{max}$ ,  $V_{min}$  – скорости истечения струй, большая и меньшая соответственно. По мере уменьшения  $D_a$  влияние  $\Delta$  на эффективность несколько падает, рис. 3, но характер кривых сохраняет свой вид. По оси ординат на рис. 2 отложена разность между рассчитанным по интегралу Данквертса значением степени превращения и её экспериментальным значением, равная

$$\Delta X = X_{теор} - X_{экс}$$

В своё время авторами статьи в содружестве с сотрудниками кафедры "Процессы и аппараты химической технологии" ВолгПИ д.т.н. Дарманяном и д.т.н. Тишиным была проделана работа для изучения режимов работы статического смесителя, совместно с которыми была создана соответствующая конструкция, защищённая а.с. № 1606167 на изобретение, приведенная на рис. 4.

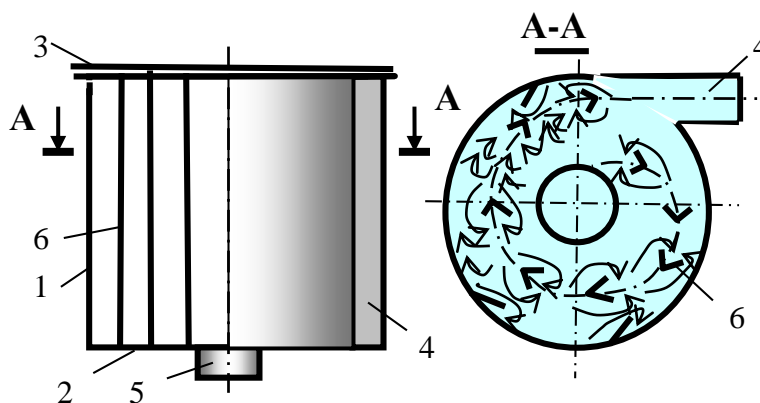


Рис. 4. Вихревой смеситель (а.с. № 1606167 на изобретение.)

1 – цилиндрический корпус; 2 – крышка; 3 – тангенциальный патрубок;  
4 – входной патрубок; 5 – выходной патрубок; 6 – турбулизаторы

Fig. 4. Vortex mixer (author's certificate No. 1606167 for the invention.)

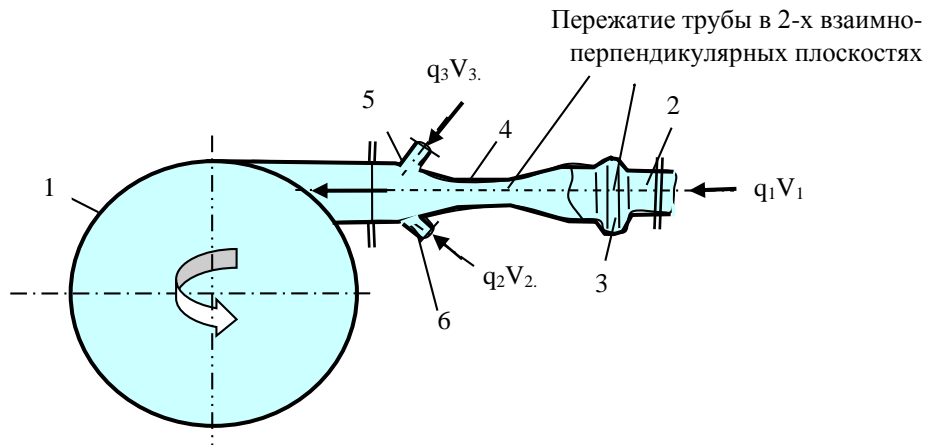
1 – cylindrical body; 2 – cover; 3 – tangential branch pipe; 4 – inlet pipe; 5 – outlet pipe; 6 – turbulators

В продолжение работ по конструированию статических смесителей авторами статьи была разработана малозатратная, энергосберегающая установка для предварительного смешения реагентов и эффективного проведения процесса хлопьеобразования, защищённая патентом на полезную модель ВУ 4810 [8], которая обеспечивала предварительное смешение реагентов со сточными водами до 90% в защищённом патентом устройстве для проведения физико-химических процессов [9].

Основной фрагмент этой установки приведен на рис. 5, согласно которому поток сточных вод подлежащих обработке, поступают во входной тангенциальный патрубок (вихревой смеситель) 2, который сплюснен в двух взаимно

перпендикулярных направлениях 3, 4. Поток воды, проходя через сжатые овальные сечения и ускоряется и приобретает винтовой характер, чем достигается интенсивное смешение в полном объёме жидкости на выходе.

Непосредственно перед входом в корпус 1 через насадки 5 и 6, расположенным под углом к боковым сжатым сечениям, вводятся реагенты. Далее смесь воды и реагентов поступает в устройство для проведения физико-химических процессов в котором завершается процесс перемешивания сточных вод и реагентов [9].



**Рис.5.** Фрагмент установки для проведения процессов предварительного смешения и последующего хлопьеобразования (патент. на полезную модель ВУ 4810)

1 – камера конического смесителя; 2 – входной тангенциальный патрубок;  
3 и 4 – развёрнутые под углом 90° сжатые овальные сечения; 5, 6 – насадки для ввода реагентов  
**Fig. 5.** Fragment of the installation for carrying out the processes of pre-mixing and subsequent flocculation (patent for a utility model ВУ 4810)

1 – chamber of the conical mixer; 2 – inlet tangential branch pipe;  
3 and 4 – compressed oval sections turned at an angle of 90°; 5, 6 – nozzles for introducing reagents

Как показали исследования, проведенные соавтором патента доцентом БрГТУ Дмухайло Е.И., степень сегрегации реагентов и обрабатываемых стоков при последовательном прохождении их через входной тангенциальный патрубок 7 в верхнюю зону устройства [9] - не менее 95%.

Практически совокупность этих стадий перемешивания при широком спектре расходов стоков и реагентов, обеспечивает прохождение технологического процесса приближенному к идеальному смесителю.

## ВЫВОДЫ

1. На качество и скорость процесса очистки сточной воды существенное влияние оказывает технологическая операция перемешивание, которая предназначена для осуществления различных физических процессов и служащая для выравнивания полей концентраций и температур.

2. Результаты исследований на экспериментальной установке показали, что во всём диапазоне изменения расходов потоков реагентов структура потоков в статическом смесителе соответствует модели идеального перемешивания, а для обеспечения эффективной работы смесителей необходимо обеспечить следующие их параметры: число Дамкелера  $D_a = 0.4$  и соотношение скоростей истечения струй из сопел  $\Delta = 0.4 \dots 0.5$ .

3. Использование статических смесителей предложенных конструкций позволит интенсифицировать процессы перемешивания химических реагентов степень сегрегации реагентов и обрабатываемых стоков не менее 95%.

4. Представлены расчетные зависимости, которые предназначены для проектных расчётов статических смесителей, обеспечивающих идеальное смешение.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Degremont. Справочник по обработке воды: в 2-х т. пер. с фр. – СПб. Новый журнал. 2007. 1696 с.
2. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем. – СПб: Новый журнал. – 2012 – 384 с.
3. Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / ДАНСЕЕ, отдел по Восточной Европе. – Копенгаген, 2001. – 253 с.
4. Новый справочник химика. Ч II. – СПб: НПО. «Профессионал». Процессы и аппараты химических технологий. МММ, 2006. – 916 с.
5. Разработка и внедрение новой бессточной и безотходной технологической системы водного хозяйства защитных покрытий приборо- и машиностроения. т.1. Материалы, выдвинутые на соискание Премии Совмина СССР в области науки и техники. М., 1989.
6. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. – Брест, изд-во БГТУ, 2007. – 396 с.
7. Евгений Урецкий. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография- изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany. – 2014. 360 с.
8. Е.А. Урецкий, В. В. Мороз, Е.И. Дмухайло. Вихревой аппарат: пат. 4810 Респ. Беларусь /; заявитель БрГТУ– № u 20080317; опубли. 04.08.2008/ Гос. реестр полезн. моделей.
9. Е. А. Урецкий и др. Вихревой аппарат: пат. 1606167. Заявитель ВолгПИ/ Государственный реестр изобретений.

## REFERENCES

1. Degremont. Handbook of water treatment: in 2 volumes per. from fr. - St. Petersburg. New magazine. 2007. 1696 p.
2. Purification of industrial waste water: per. with him. – St. Petersburg: New magazine, 2012. – 384 p.
3. Handbook of modern methods and technologies for natural and waste water treatment and equipment / DANCEE, Department for Eastern Europe. – Copenhagen, 2001. – 253 p.
4. A new chemist's handbook. CH II. – St. Petersburg: NGO. "Professional". Processes and apparatuses of chemical technologies. MMIM, 2006. – 916 p.
5. Development and implementation of a new drainless and waste-free technological system for water management of protective coatings for instrumentation and machine building. v.1. Materials nominated for the Prize of the USSR Council of Ministers in the field of science and technology. M. – 1989.
6. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises. Monograph. - Brest, publishing house of BSTU, 2007. – 396 p.
7. Evgeny Uretsky. Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises. Monograph – LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014. – 360 p.
8. E.A. Uretsky, V.V. Moroz, E.I. Dmukhailo. Vortex apparatus: Pat. 4810 Rep. Belarus /; applicant BrGTU - No. u 20080317; publ. 08/04/2008 / State. register is useful. models.
9. E. A. Uretsky et al. Vortex apparatus: Pat. 160 61 67. Applicant VolgPI / State Register of Inventions 15.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SMALL-CAPACITY STATIC MIXERS FOR MIXING REAGENTS WITH WASTEWATER

Uretsky <sup>1</sup> E.A., Nikolenko <sup>2</sup> I.V., Moroz <sup>3</sup> V.V.

<sup>1</sup>Belarusian State Design Institute "BelGPI"

Vitebsk, Pushkin, 6, Republic of Belarus. 210602. e-mail: euretsky@yandex.by

<sup>2</sup> V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture, 181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation, energia-09@mail.ru

<sup>3</sup> Brest State Technical University  
224017 Republic of Belarus Brest, Moskovskaya str., 267, vovavall@mail.ru

**Abstract.** A study of the efficiency of small-sized static mixers has been conducted. Low-cost resource-saving installations for preliminary mixing of reagents with wastewater and efficient flocculation process have been developed. With a wide range of wastewater and reagent costs, they approach ideal mixers, providing a degree of segregation of reagents and treated wastewater of at least 95%.

**The subject of the study.** The efficiency of small-capacity static mixers for pre-mixing reagents with wastewater and carrying out the flocculation process.

**Materials and methods of research.** In the work, experimental studies of small-capacity static mixers for preliminary mixing of reagents with wastewater and the flocculation process were carried out. During the research, the main technological parameters for small-sized static mixers providing the maximum degree of segregation of reagents and treated wastewater were determined.

**Results.** To develop small-sized static mixers used in wastewater treatment processes, experimental studies have been carried out on the preliminary mixing of reagents and wastewater and flocculation processes. The degree of segregation of reagents and treated wastewater has been achieved with a wide range of wastewater and reagent costs of at least 95%.

**Conclusions.** According to the results of experimental studies conducted on small-sized static mixers, it was found that their use in wastewater treatment provides a multiple reduction in the metal and energy consumption of traditionally used technological equipment for pre-mixing of reagents and flocculation

**Key words:** pH, chemical reactor, mechanical agitators, mixer, hydrodynamics, flow structure, micro-mixing, process pipelines, reagents.



УДК: 697.662.6/9.536.1

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОДНОФАЗНЫХ ПОТОКОВ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Петров<sup>1</sup> А.М., Попов<sup>2</sup> А.Н.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского»,  
г. Норильск, darker2012@yandex.ru<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,  
г. Тюмень, 264241@mail.ru

**Аннотация:** Авторы статьи рассматривают потребность переосмысления и трансформации структуры энергетики и связанных с этих систем теплоснабжения, через создание диагностических измерительно-вычислительных комплексов и систем диагностики нового поколения. Делается акцент на то, что грядущие системы диагностики будут включать в свою «информационную основу» технологии Big Data. Что позволяет сделать выводы о необходимости отдельного рассмотрения физико-математических моделей однофазных потоков, на основе которых будут обучаться искусственные нейронные сети.

**Ключевые слова:** энергетика, системы теплоснабжения, измерительно-вычислительный комплекс, нейронная сеть, Computer Vision.

## ВВЕДЕНИЕ

Россия обладает самой протяженной системой тепловых сетей в Европе (суммарно около 125 тыс. км.). С учетом стабильного положительного роста объема строительных площадей и вводимого в эксплуатацию нового жилья, данная протяжённость будет увеличиваться. Логично, что в связи с этими факторами уместно говорить о необходимости повышения надежности работы сетей теплоснабжения, что проистекает из повышения качества комплексного диагностирования данных систем.

Потребность изменений, диктуемых появляющимся на мировом рынке спросом на системы централизованного теплоснабжения 4-го поколения [1-5], приводит к необходимости переосмысления старых и принятию новых решений, технологий и подходов к диагностике систем теплоснабжения. Отдельно в тех или иных замкнутых участках предприятий [6] предлагаются различные решения по модернизации сетей теплоснабжения и создания, новых измерительно-вычислительных комплексов [7]. Однако, зачастую данные разработки не всегда учитывают особенности суровых климатических условий страны, вектор развития информационных технологий и имеющиеся библиотеки физико-математических моделей термодинамических процессов.

В данной статье коллектив авторов предполагает подход к составлению физико-математических моделей термодинамических процессов однофазных потоков наружных сетей теплоснабжения, которые в перспективе будут использоваться при проектировании измерительно-вычислительных комплексов нового поколения. Уже сейчас является очевидным то, что грядущие системы диагностики будут включать в свою «информационную основу» технологии Big Data и Neural Network. Поэтому, прежде всего, необходимо

отдельно рассмотреть физико-математические модели однофазных потоков, на основе которых будут обучаться искусственные нейронные сети.

## Особенности использования математического аппарата

Ряд проблем, который возникает при моделировании однофазных потоков в системах теплоснабжения заключается, прежде всего, в том, что существует необходимость учета того, что моделируемый поток протекает в «закрытой системе», внешние стенки которой могут варьироваться исходя из конструктивных характеристик, применяемых средств утепления и прочих внешних факторов. Подобные внешние факторы делают математическую модель однофазного потока трудноформализуемой.

В связи с этим появляется необходимость обозначить особенности использования математического аппарата. Поскольку моделируемый процесс учитывает как взаимодействие с окружающей средой, так и взаимодействие с процессами внутри системы, то в рамках терминологии, однофазный поток будет относиться по сложности математических моделей к типу «система».

Подавляющее большинство исследователей [4] при математическом описании «систем» использует метод имитационного моделирования по типу Монте-Карло, ввиду того, что он позволяет учитывать плотность вероятности влияния внешних факторов, что несомненно важно учитывать в случае протекания однофазного потока внутри системы теплоснабжения. Ключевым фактором для учёта является то, что однофазный поток жидкости характеризуется тем, что его изменения плотности при движении по сечению трубы являются непрерывными и гладкими

Также в пользу Монте-Карло можно учитывать большое число реализаций случайных

(стохастических) процессов, вероятностные характеристики которых максимально точно повторяют реальные, а значит, могут использоваться совместно с технологиями Neural Network. Это в свою очередь означает представление информации о термодинамических процессах однофазного потока в структурированном виде и как следствие, уменьшение риска использования в качестве обучения искусственной нейронной (которая будет заложена в основу программного обеспечения измерительно-вычислительного комплекса, для диагностики систем теплоснабжения) сети ошибочной/некорректной информации.

Исходя из вышенаписанного, можно прийти к выводу, что описываемой физико-математической моделью поток может быть рассмотрен в виде алгебраической системе интервальной арифметики  $(\mathbb{R}, +, -, \cdot, \setminus)$ , носителем которой является множество вещественных интервалов данной системы, то есть:

$$x = [\underline{x}, \bar{x}] = \{x \in \mathbb{R} | \underline{x} \leq x \leq \bar{x}\}, \quad (1)$$

где  $x = [\underline{x}, \bar{x}]$  - интервальное число, представляющее собой значения всех возможных параметров от минимального до максимального возможного (прописанное стандартом и/или статистическим наблюдением).

Процедуры бинарных операций будут производиться в соответствии со следующими фундаментальными принципами:

$$x * y = \{x * y | x \in x, y \in y\} \quad (2)$$

Поскольку каждый параметр  $x \in x$ ,  $a \in y$ , то взаимодействие параметров  $x$  и  $y$  имеет смысл для любых их интервалов в виде седующих арифметических операций:

$$x + y = [\underline{x} + \underline{y}, \bar{x} + \bar{y}] \quad (3)$$

$$x - y = [\underline{x} - \bar{y}, \bar{x} - \underline{y}] \quad (4)$$

$$x * y = [\min\{\bar{x}\bar{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \underline{x}\underline{y}\}, \max\{\bar{x}\bar{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}, \underline{x}\underline{y}\}] \quad (5)$$

$$x/y = x * [\frac{1}{\bar{y}}, \frac{1}{\underline{y}}] \text{ для } 0 \in y \quad (6)$$

При этом получаемые фактические данные будут отождествлены с интервалами нулевой ширины.

Поскольку рабочее тело внутри трубопровода можно представить, как точки (элементы), связанные друг с другом связями сходными со связями евклидова пространства, то топология многомерных интегральных пространств однофазного потока может быть определена обычными метриками:

$$\text{dist}(x, y) = \max[\bar{x} - \bar{y}, \underline{x} - \underline{y}], \text{ где } x, y \in \mathbb{R} \quad (7)$$

В которой  $[\bar{x}; \bar{y}]$  - трактуется, как абсолютная векторная норма  $\mathbb{R}$ .

Однако поскольку однофазный поток не является стабильным за единицу времени и обладает свойствами жидкого тела, то также, наряду с обычным ведением метрик можно будет использовать и псевдометрику по терминологии Л. Коллатца [9], тогда  $\mathbb{R}$  представляется в виде:

$$\text{Dist}(x, y) = \begin{pmatrix} \text{dist}(x_1, y_1) \\ \dots \\ \text{dist}(x_n, y_n) \end{pmatrix} \in \mathbb{R} \quad (8)$$

Для определения параметров интервала, а именно его середины, радиуса и ширины используются следующие инструменты:

$$\text{mid}(x, y) = \frac{1}{2}[\bar{x} + \underline{x}], \frac{1}{2}[\bar{y} + \underline{y}] \quad (9)$$

$$\text{rad}(x, y) = \frac{1}{2}[\bar{x} - \underline{x}], \frac{1}{2}[\bar{y} - \underline{y}] \quad (10)$$

$$\text{wid}(x, y) = [\bar{x} - \underline{x}], [\bar{y} - \underline{y}] \quad (11)$$

Абсолютными величинам интервала  $x, y$  будут величины, определяемые, как:

$$|x, y| = \max(|\bar{x}|, |\underline{x}|), \max(|\bar{y}|, |\underline{y}|) \quad (12)$$

Анализ поведения однофазного потока в ходе рассматриваемого отрезка трубы, как части системы теплоснабжения, позволяет обнаружить скрытые закономерности и как следствие, влияние на связанные с ним параметры. В свою очередь, углублённое понимание происходящих процессов внутри однофазного потока и математизация его, прежде всего, позволит осуществить более точную процедуру диагностики, тем самым увеличив эффективность работы измерительно-вычислительного комплекса.

Весь набор параметров однофазного потока можно выразить в виде интервальной матрицы  $A = \|a_{ij}\|$  с размерностью  $m \times n$ , в которой они являются столбцами, соответствующими каждому отдельно взятому параметру однофазного потока,  $a_j$  – строки, содержащие значения параметра однофазного потока, полученные при соответствующем измерении.

В итоге получается, что при подобной операции матрица  $A$  представляет собой систему взаимодействия параметров, которую можно выразить, как  $\sum$ . Значительно усложняет задачу еще тот факт, что в ходе осуществления процедуры диагностики термодинамических процессов однофазного потока о связях параметров, внутри измеряемой системы неизвестно ничего. Поэтому при исследовании подобных систем, выраженных в виде физико-математических моделей, первоочередным является выявление сложных структурных связей и как следствие, моделирование их зависимостей друг относительно друга.

Характер информации, поступающий на измерительно-вычислительный комплекс, при процедуре диагностики системы теплоснабжения будет интервальным, что означает необходимость проведения процедуры предварительной обработки. Сама процедура предварительной обработки включает в себя подпроцедуры подготовки и обработки информации. Ввиду того, что часть учитываемых  $\sum$  связей параметров не ясна, то можно предположить, что некоторые из них будут неинформативными и как следствие, не будут нужны в математической модели.

Это означает, что поступающая информация будет обладать такими нежелательными свойствами, как:

1. Пропуски в данных.
2. Ошибочные значения.
3. Малоинформативные параметры.

Чтобы устранить первое нежелательное свойство, связанное с пропусками данных, можно осуществить подстановку усредненного значения параметра, который отсутствует в информационном массиве. Поскольку параметр будет прежде всего усреднен и не будет влиять на вычисления, то точность модели не снизится.

Ошибочные значения можно исправить с помощью «лимитера», за ранее обозначив в поступающей информации минимальные и максимальные возможные значения. «Ограничитель» будет заменять ошибочные значения на пропуски, после чего пропуски будут заменены на усредненные значения параметра. Распознавание ошибок будет производиться по следующей формуле:

$$\sigma = 1.5 \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\max(|b_i - b_j|))^2} \quad (13)$$

Коэффициент, равный 1.5 взят при условии, что максимальное значение измеряемого параметра не должно превышать 150% от требуемого стандартом.

Исключить малоинформативные параметры можно за счет подсчета пропусков в информационном массиве, касательно параметра. Это означает, что чем больше будет пропусков, тем менее параметр будет информативен. Также будет учитываться и «стабильный», не изменяющий интервал, так как если интервал не меняется, на протяжении всего процесса, то его воздействие на  $\Sigma$  отсутствует.

Поскольку характер поступающей информации интервальный, то математическую модель термодинамических процессов однофазного потока можно представить в виде системы линейных неравенств. Это означает, что решение данной «интервальной задачи» основывается на анализе допустимого множества возможных решений. Что в свою очередь означает возможность использования [10-15] для данной цели.

$$Tol(x, A, b) = \min_{1 \leq i \leq m} \{rad b_i - |mid b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j|\} \quad (14)$$

Для интервальной матрицы  $A$  размерностью  $m \times n$  определяется функционал  $Tol(x, A, b) \geq 0$  при  $R^n \rightarrow R$ , что означает допустимость множества решений, для  $Ax = b$ , которое может быть выражено, через:

$$\{x \in R^n | Tol(x, A, b) \geq 0\} \quad (15)$$

Поскольку интервальные арифметические операции обладают свойством «непрерывности», то и  $Tol(x, A, b)$  также будет непрерывным. Он необходим, для поиска «пустот» в информационном массиве, получающемся с измеряемого параметра процесса.

Для повышения эффективности работы проектируемого измерительно-вычислительного комплекса, путем сокращения «пустот» в информационном массиве и получения более точной информации об измеряемом процессе

применим метод прямых выборочных процедур с уменьшением интервального поиска, так как согласно [16-18] он выдает большую точность при решении многоэкстремальных задач, чем иные методы. Алгоритм выглядит следующим образом:

$$Q \ln(1 - \varepsilon) = \ln\left(\frac{eps}{\max_{i=1..n}(z_i)}\right) \quad (16)$$

где  $eps$  – точность вычислений;  $\varepsilon$  – параметр случайного шага для уменьшения параметра поиска;  $z_i$  – диапазон варьирования неизвестного параметра ( $z_i = [\bar{x}_i - \underline{x}_i]$ );  $Q$  – количество серий опыта.

Поскольку разрешимость линейных задач рассматриваемого процесса установлена, то есть точка в допустимом множестве решений потенциально может быть найдена, то дальнейшие действия по аппроксимации сводятся к использованию искусственных нейронных сетей с небольшим числом нейронов [19].

Фактически это дает возможность «доучивания» искусственной нейронной сети на выборке, полученной в ходе экспериментального исследования. Трехслойная нейронная сеть, по утверждению [20] способна эффективно аппроксимировать непрерывные функции.

### Результаты методики получения физико-математических моделей

Проверить адекватность математической модели можно путем повторных расчетов IR по следующим формулам:

$$IR_1 = IR(1 - \frac{2.25}{IR^2} p\Delta); IR_2 = IR(1 + \frac{2.25}{IR^2} p\Delta) \quad (17)$$

Далее, для повторной проверки адекватности, необходимо сравнить полученные результаты разбиений. Для осуществления корректной кластеризации информационных массивов по каждому параметру, необходимо ввести понятие «сходимость».

Сходимость – это параметр, отвечающий за степень сходства измеряемых параметров процесса по их переменным и их воздействию на  $\Sigma$ . Так как каждый объект описывается неким количеством  $n$ -значений, то его можно представить, как совокупность точек в пространстве или иными словами «плотностью»  $\rho(\omega)$ . Это означает, что к каждому объекту можно будет применить количественную оценку, и как следствие – сравнить их друг относительно друга, по расстоянию, мере сходимости и любым иным количественно описываемым критериям, при условии выражения их в пространстве. Что в свою очередь, означает, приемлемость такого выражения информационного массива при обучении нейронной сети.

Для этого представим объект точечной системы в виде ортогональных матриц, которые можно легко проанализировать в дальнейшем:

$$\begin{pmatrix} \text{dist}(b_1 b_1), \text{dist}(b_1 b_2) \dots \text{dist}(b_1 b_n) \\ \text{dist}(b_2 b_1), \text{dist}(b_2 b_2) \dots \text{dist}(b_2 b_n) \\ \dots \\ \text{dist}(b_n b_1), \text{dist}(b_n b_2) \dots \text{dist}(b_n b_n) \end{pmatrix} \quad (18)$$

После понимания степени важности того или иного параметра, на  $\Sigma$  можно будет ввести в (18) корректирующие коэффициенты, тогда матрица будет представлена в виде:

$$\begin{pmatrix} k_1(b_1b_1), k_1(b_1b_2) \dots k_1(b_1b_n) \\ k_2(b_2b_1), k_2(b_2b_2) \dots k_2(b_2b_n) \\ \dots \\ k_n(b_nb_1), k_n(b_nb_2) \dots k_n(b_nb_n) \end{pmatrix} \quad (19)$$

Получившиеся матрицы (18,19) можно обработать алгоритмами кластеризации, которые будут выражать параметры в виде дендрограммы.

Соответственно, уже после процедуры выявления совокупностей интервальных характеристик появляется возможность получения искомым линейных моделей. Тогда систему  $\Sigma$  можно записать следующим образом:

$$\Sigma = [x_n, F(x, q), y] \quad (20)$$

где  $x_n$  – входные возмущения параметра, которые действуют в пределах интервала данного параметра,  $n = \overline{1, r}$ ;  $y$  – стабилизируемый выход, для которого нужно обеспечить гарантируемое попадание в интервал  $y$ ;  $q$  – вектор, описывающий внутреннее состояние системы, элементы которой изменяются в пределах  $q$ .

## ВЫВОД

Таким образом, разработана методика получения физико-математических моделей термодинамических процессов в однофазных потоках наружных сетей теплоснабжения, на основе, которой будет написано и реализовано соответствующее программное обеспечение. Для проверки адекватности разработанной методики необходимо будет провести экспериментальные исследования и собрать информационный массив по ним.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотухина Анастасия Владимировна Системы теплоснабжения 4-го поколения // Евразийский научный журнал. 2016. №6.
2. Бектемиров А. Пути модернизации и совершенствования системы централизованного теплоснабжения // Архивариус. 2020. №2 (47).
3. Колбасина В.В. Повышение энергоэффективности в системах централизованного теплоснабжения // Вестник магистратуры. 2021. №4-3 (115).
4. Панова А.А. Сравнительная характеристика централизованного и автономного теплоснабжения в жилищном строительстве // Инновационная наука. 2020. №12.
5. Петрова И. Ю., Музафаров Р. Р. Системы централизованного теплоснабжения для умных городов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. №4 (38).
6. Плахотник С.М. Сравнение систем теплоснабжения децентрализованного типа // Вестник магистратуры. 2020. №1-3 (100).

7. Петров А.М., Попов А.Н. Анализ существующих решений совершенствования измерительно-вычислительных комплексов сетей теплоснабжения // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2021. №1.

8. Исайкина Анастасия Михайловна Исследование давлений в трубопроводе методом математического моделирования // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №5.

9. Юдин Д.Б., Горяшко А.П. Проблемы управления и теория сложности. П. – Техническая кибернетика, 1974, 12, с.12-24.

10. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2 изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002.

11. Салугин А.Н., Балкушкин Р.Н. О применении искусственных нейронных сетей для моделирования водопотребления // ВХР. 2021. №1.

12. Г. Б. Жамалова Информационное моделирование с применением искусственных нейронных сетей // Academic research in educational sciences. 2020. №3.

13. Пономарева Катерина Андреевна Применение искусственных нейронных сетей при решении задач прогнозирования // Наука без границ. 2020. №1 (41).

14. Бродач Марианна Михайловна, Шилкин Николай Васильевич Оптимальное управление системой отопления с использованием самообучения на основе нейросетей // Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2020. №1.

15. Калашников А.О., Барабанов В.Ф., Нужный А.М., Барабанов А.В. Поддержка принятия решений в системе распознавания изображений с применением искусственной нейронной сети // Вестник ВГТУ. 2021. №2.

16. Сигеру Омату. Нейрокомпьютеры и их применение / Пер. с англ. Н.В. Батина; под ред. А.И. Галушкина, В.А. Птичкина – М.: ИПРЖ, 2000.

17. Шелухин Олег Иванович, Шариков Алексей Юрьевич Имитация поведения компьютерной системы с помощью искусственных нейронных сетей // T-Comm. 2021. №5.

18. Г. Б. Жамалова Информационное моделирование с применением искусственных нейронных сетей // Academic research in educational sciences. 2020. №3.

19. Sirisaengtaksin O., Kreinovich V. Neural networks that are not sensitive to the imprecision of hardware neurons // Interval Computations №4. Proceeding of the International Conference of Numerical Analysis with Automatic Result Verification – 1993. – P. 100-113. 121

20. Шведов Алексей Сергеевич Аппроксимация функций с помощью нейронных сетей и нечетких систем // Проблемы управления. 2018. №1.

## REFERENCE

1. Zolotukhina Anastasia Vladimirovna Heat supply systems of the 4th generation // Eurasian scientific journal. 2016. №6.

2. Bektemirov A. Ways of modernization and improvement of the centralized heat supply system // *Archivist*. 2020. No. 2 (47).
3. Kolbasina V.V. Improving energy efficiency in district heating systems. *Bulletin of the Magistracy*. 2021. No. 4-3 (115).
4. Panova A.A. Comparative characteristics of centralized and autonomous heat supply in housing construction. *Innovatsionnaya nauka*. 2020. No. 12.
5. Petrova I. Yu., Muzafarov R. R. District heating systems for smart cities // *Engineering and construction bulletin of the Caspian Sea*. 2021. No. 4 (38).
6. Plakhotnik S.M. Comparison of heat supply systems of decentralized type. *Bulletin of Magistracy*. 2020. No. 1-3 (100).
7. Petrov A.M., Popov A.N. Analysis of Existing Solutions for Improving Measuring and Computing Complexes of Heat Supply Networks. *Bulletin of PNRPU. Construction and architecture*. 2021. №1.
8. Isaykina Anastasia Mikhailovna Study of pipeline pressures by mathematical modeling // *Izvestiya TulGU. Technical science*. 2021. №5.
9. Yudin D.B., Goryashko A.P. Control problems and complexity theory. *P. - Technical cybernetics*, 1974, 12, p.12-24.
10. Kruglov V.V., Borisov V.V. Artificial neural networks. Theory and practice. - 2nd ed., stereotype. - M.: Hotline - Telecom, 2002.
11. Salugin A.N., Balkushkin R.N. On the use of artificial neural networks for water consumption modeling // *VKhR*. 2021. №1.
12. G. B. Zhamalova Information modeling using artificial neural networks // *Academic research in educational sciences*. 2020. №3.
13. Ponomareva Katerina Andreevna The use of artificial neural networks in solving forecasting problems // *Science without Borders*. 2020. No. 1 (41).
14. Brodach Marianna Mikhailovna, Shilkin Nikolai Vasilievich Optimal control of the heating system using self-learning based on neural networks // *Science, education and experimental design*. 2020. №1.
15. Kalashnikov A.O., Barabanov V.F., Nuzhny A.M., Barabanov A.V. Decision support in an image recognition system using an artificial neural network. *Vestnik VGTU*. 2021. №2.
16. Shigeru Omatu. Neurocomputers and their application / Per. from English N.V. Batina; ed. A.I. Galushkina, V.A. Ptichkina - M.: IPRZH, 2000.
17. Shelukhin Oleg Ivanovich, Sharikov Aleksey Yuryevich Simulation of the behavior of a computer system using artificial neural networks // *T-Comm*. 2021. №5.
18. G. B. Zhamalova Information modeling using artificial neural networks // *Academic research in educational sciences*. 2020. №3.
19. Sirisaengtaksin O., Kreinovich V. Neural networks that are not sensitive to the imprecision of hardware neurons // *Interval Computations* No. 4. *Proceeding of the International Conference of Numerical Analysis with Automatic Result Verification - 1993*. - P. 100-113. 121
20. Aleksey Sergeevich Shvedov Approximation of functions using neural networks and fuzzy systems // *Control Problems*. 2018. No. 1.

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MATHEMATICAL MODELING OF THERMODYNAMIC PROCESSES OF SINGLE-PHASE FLOWS OF EXTERNAL HEAT SUPPLY NETWORKS.

Petrov A.M., Popov A.N.

Zapolyarny State University named after N.M. Fedorovsky, Norilsk, darker2012@yandex.ru  
Tyumen State University, Tyumen, Northern Trans-Urals, Tyumen, 264241@mail.ru

**Abstract.** The authors of the article consider the need to rethink and transform the structure of the energy sector and related heat supply systems, through the creation of diagnostic measuring and computing complexes and diagnostic systems of a new generation. Emphasis is placed on the fact that future diagnostic systems will include Big Data technologies in their "information basis". This allows us to draw conclusions about the need for a separate consideration of physical and mathematical models of single-phase flows, on the basis of which artificial neural networks will be trained.

**Key words:** energy, heat supply systems, measuring and computing complex, neural network, Computer Vision.



УДК 621.311. 6.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИОНИСТОРА ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ И РОДА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТА

Циперко Л.Н.<sup>1</sup>, Бекиров Э.А.<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского»,  
Физико-технический институт, г. Симферополь, РФ,  
E-mail: <sup>1</sup>leva.tsiperko.96@mail.ru; <sup>2</sup>bekirov.e.a@cfuv.ru

**Аннотация.** В статье представлена сравнительная характеристика водных растворов электролита применяемых для изготовления ионистора. Актуальность данной работы заключается в использовании дешевых нетоксичных растворов электролита, предназначенных для использования в ионисторах с целью повышения бесперебойного электроснабжения объекта сельско – хозяйственного назначения.

**Предмет исследования.** Ионисторы и их свойства, в зависимости от рода применяемого электролита.

**Материалы и методы.** В работе использовались эмпирические методы исследований и теоретические сведения для их обоснования.

**Ключевые слова.** ионистор; электролит; водный раствор; соль; кислота; основание; ион.

### ВВЕДЕНИЕ

Сегодня на практике наиболее широко применяются следующие типы накопителей энергии:

- 1) Аккумуляторы;
- 2) Конденсаторы;
- 3) Ионисторы;

В основном в качестве накопителя энергии для объектов возобновляемой энергетики применяются аккумуляторы. Это связано с большой емкостью и невысокой удельной стоимостью, но при этом они имеют ограниченный срок службы, в зависимости от условий работы он составляет 3 – 5 лет. Этот недостаток значительно увеличивает стоимость эксплуатации таких устройств. Конденсаторы и ионисторы имеют значительно меньшую емкость и значительно большую стоимость, но при этом срок их службы значительно больше, до 30 лет. Таким образом их применение, как альтернатива аккумулятору, целесообразно с точки зрения эксплуатации. Но при этом стоимость ампер часа электроэнергии накопленной в ионисторе будет значительно выше аналогичной емкости аккумулятора. Это связано, прежде всего, с дороговизной производства и высокой себестоимостью ионистора. В данной работе при разработке ионистора приоритет был отдан себестоимости накопителя.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На данном этапе развития техники суперконденсаторы чаще всего применяются как резервный источник питания для электроники [2], но в последние годы их стали применять и как аналог аккумуляторов в установках [13], где необходим пиковый источник энергии [9], а также где необходим резервный источник питания логических [4] или интегральных схем [5]. В некоторых случаях целесообразно применение

ионистора в системах электростартерного пуска двигателей внутреннего сгорания [8]. В новых ионисторах качестве электролита применяется соли, температура плавления которой ниже температуры окружающей среды – ионные жидкости [3], [11]. Также применяются ионисторы с твердым электролитом  $RbAg_4I_5$ , они имеют широкий интервал рабочих температур, сверхвысокую стойкость к воздействиям механических и специальных факторов и не имеют альтернативы в случае использования в жестких условиях эксплуатации [12], [6]. Также одним из методов увеличения емкости ионистора является подбор состава и оптимизации структуры электродов [1]. В качестве сорбента применяются пористые вещества с высокой удельной площадью, такие как: активированный уголь, вспененные металлы или графен [3]. Также есть и экспериментальные модели ионисторов в которых в качестве сорбента используется коксовая пыль [10]. С точки зрения физики ионистор представляет собой конденсатор с большой площадью поверхности и малым расстоянием между обкладками. Такой эффект получается за счет использования материалов с высокой удельной площадью, таких как активированный уголь или вспененные металлы. В последние годы в качестве сорбента стали применять углеродные нанотрубки, что в свою очередь значительно увеличило этот показатель. Ионистор представляет собой накопитель электрической энергии, принцип действия которого основан на накоплении заряда в двойном электрическом слое.

Принцип работы ионистора заключается в накоплении ионов в порах сорбента [14]. При приложении напряжения к выводам ионистора отрицательные ионы собираются у анода, а положительные у катода.

Так как расстояние между ионами электролита и электронами в сорбенте составляет несколько нанометров, такой накопитель энергии имеет емкость значительно больше, чем емкость

конденсатора. Для определения параметра безотказности ионистора применяется «стресстест» [7].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используются экспериментальный и аналитический методы для определения оптимальных параметров электролита ионистора. В качестве электролитов были использованы широко доступные вещества имеющие низкую себестоимость. Для всех типов электролита эксперимент проводился в одинаковых условиях. В качестве обкладок ионистора применялась медная фольга толщиной 0.2 мм, в качестве сепаратора

была использована папиросная бумага, а в качестве сорбента использовался мелкодисперсный активированный уголь. После нанесения активированного угля на обкладку он пропитывался одинаковым для всех экспериментов объемом электролита. Далее ионистор закрывался с обеих сторон стеклянной пластинкой, что предотвращало испарение электролита.

### Порядок проведения эксперимента:

1. Находим характеристику разряда ионистора от концентрации электролита для трех значений – 20%, 40%, 60%;
2. Находим зависимость сопротивления ионистора от рода электролита;
3. Концентрация рассчитывается исходя из условий насыщения электролита как показано в таблице 1.

Таблица 1. Справочные данные по растворимости веществ в воде

Table 1. Reference data on the solubility of substances in water

Наименование	Предельная масса растворенного вещества на 100 г воды
KI – Иодид калия	144,5
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – Карбонат натрия	29,4
KBr – Бромид калия	65,2
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – Сульфат Натрия	26,1
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – Сульфат калия	12
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – Серная кислота	-
KCl – Хлорид калия	34

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате эксперимента были получены данные зависимостей сопротивления от времени и характеристики разряда для разного рода электролита. Результаты сведены в таблицы 2 и 3. На основании полученных результатов электролит на основе двадцати процентного раствора бромида калия имеет характеристики значительно выше остальных представленных электролитов. Такой

результат можно объяснить природой процесса электролиза протекающего при заряде ионистора.

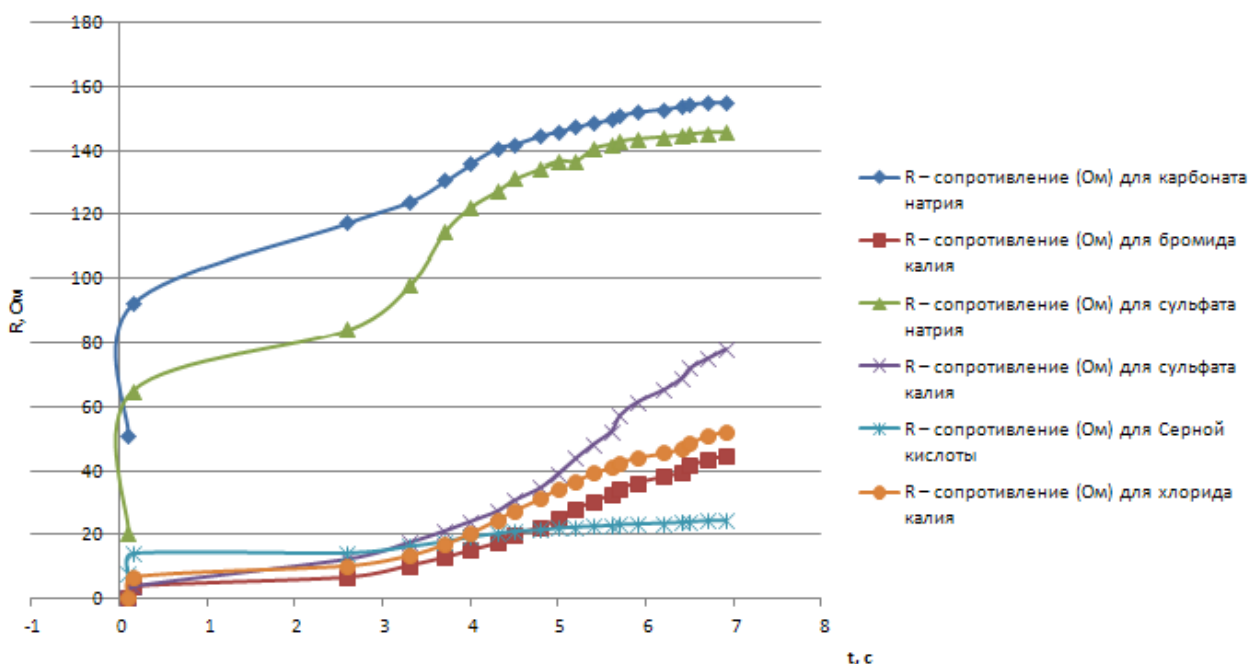
Сопоставив графики разряда ионисторов (рис 2) и количество электронов освобожденных в процессе заряда (формулы 1-18) можно заметить, что во всех веществах, за исключением бромида калия при электролизе освобождается от двух до четырех электронов, а в случае с бромидом калия количество электронов равно шести. Это объясняет большее напряжение заряда по сравнению с другими электролитами.

Таблица 2. Зависимость сопротивления от времени разряда

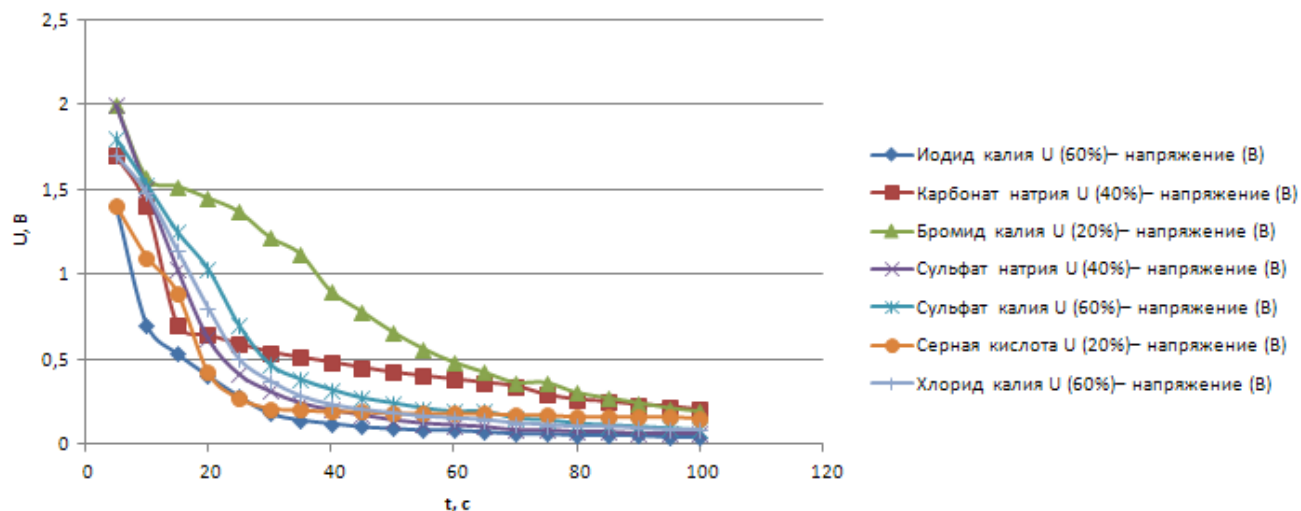
Table 2. Dependence of resistance on discharge time

t- время разряда (с)	R – сопротивление (Ом) для иодида калия	R – сопротивление (Ом) для карбоната натрия	R – сопротивление (Ом) для бромида калия	R – сопротивление (Ом) для сульфата натрия	R – сопротивление (Ом) для сульфата калия	R – сопротивление (Ом) для Серной кислоты	R – сопротивление (Ом) для хлорида калия
5	0,1	51	0,1	20,6	0,2	7,7	0,125
10	0,15	92,3	3,6	65	3,6	14	6,62
15	2,6	117,7	6,5	84,1	12,2	14,2	10,1
20	3,3	124,2	10,2	98,1	17,4	16,2	13,37
25	3,7	130,7	12,7	114,6	21	17,8	16,8
30	4	136	15	122,5	24	19,2	20,37
35	4,3	140,7	17,3	127,5	27,2	20,3	24,5
40	4,5	142	20,1	131,3	30,6	21	27,5
45	4,8	144,6	22,1	134,6	34,6	21,4	31,3
50	5	146	25,3	136,6	39	22	34,5
55	5,2	147,3	28	136,6	43,8	22,3	36,8
60	5,4	148,7	30,3	140,5	48,2	22,6	39,3

t- время разряда (с)	R – сопротивление (Ом) для иодида калия	R – сопротивление (Ом) для карбоната натрия	R – сопротивление (Ом) для бромида калия	R – сопротивление (Ом) для сульфата натрия	R – сопротивление (Ом) для сульфата калия	R – сопротивление (Ом) для Серной кислоты	R – сопротивление (Ом) для хлорида калия
65	5,6	149,6	32,5	141,8	52,2	22,8	41
70	5,7	151	34,3	142,8	57,2	23,1	42,6
75	5,9	152	36,2	143,5	61,4	23,3	44,1
80	6,2	153	38	144,1	65,2	23,5	45,5
85	6,4	153,8	39,4	144,6	68,8	23,8	47
90	6,5	154,5	41,5	145	72	24	48,75
95	6,7	155	43,4	145,5	75	24,3	51
100	6,9	155,1	44,5	145,6	77,8	24,4	52,25



**Рис 1.** График зависимости сопротивления от времени для разного рода электролитов  
**Fig. 1.** A graph of the dependence of resistance on time for a different kind of electrolyte



**Рис 2.** Характеристика разряда для разного рода электролитов  
**Fig.2.** Discharge characteristics for different kinds of electrolytes

**Таблица 3.** Зависимость напряжения от времени разряда  
**Table. 3.** Voltage dependence on discharge time

t- время разряда (с)	Иодид калия U (60%) – напряжение (В)	Карбонат натрия U (40%) – напряжение (В)	Бромид калия U (20%) – напряжение (В)	Сульфат натрия U (40%) – напряжение (В)	Сульфат калия U (60%) – напряжение (В)	Серная кислота U (20%) – напряжение (В)	Хлорид калия U (60%) – напряжение (В)
5	1,4	1,7	2	2	1,8	1,4	1,7
10	0,7	1,4	1,57	1,5	1,53	1,1	1,48
15	0,53	0,7	1,52	1,03	1,25	0,89	1,14
20	0,4	0,64	1,45	0,62	1,03	0,42	0,8
25	0,28	0,59	1,37	0,41	0,7	0,27	0,5
30	0,18	0,54	1,22	0,31	0,47	0,21	0,37
35	0,14	0,51	1,12	0,24	0,38	0,2	0,28
40	0,12	0,48	0,9	0,2	0,32	0,19	0,23
45	0,1	0,45	0,78	0,17	0,27	0,19	0,2
50	0,09	0,42	0,66	0,14	0,24	0,18	0,18
55	0,08	0,4	0,56	0,12	0,21	0,18	0,16
60	0,08	0,38	0,48	0,11	0,19	0,18	0,15
65	0,07	0,36	0,42	0,1	0,19	0,18	0,14
70	0,06	0,34	0,36	0,08	0,15	0,17	0,12
75	0,06	0,29	0,36	0,08	0,14	0,17	0,11
80	0,05	0,26	0,3	0,07	0,12	0,16	0,1
85	0,05	0,25	0,27	0,07	0,11	0,16	0,1
90	0,05	0,23	0,24	0,06	0,1	0,16	0,09
95	0,04	0,22	0,21	0,06	0,09	0,16	0,08
100	0,04	0,2	0,19	0,06	0,08	0,15	0,08

Потенциальную энергию заряженного ионистора найдем по формуле 1.

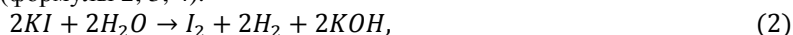
$$W = U \cdot q = U \cdot I \cdot t, \tag{1}$$



**Рис 3.** Диаграмма потенциальной энергии заряженного ионистора для разного рода электролитов  
**Fig.3.** Diagram of the potential energy of a charged ionistor for various kinds of electrolytes

Рассмотрим, как протекает процесс электролиза в исследуемых веществах.

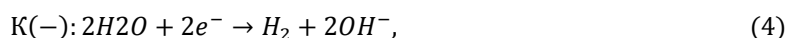
1) Электролиз водного раствора иодида калия (формулы 2; 3; 4).



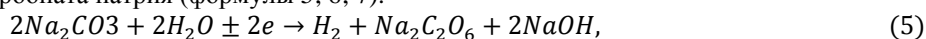
Процесс на аноде:



Процесс на катоде:



2) Электролиз водного раствора карбоната натрия (формулы 5; 6; 7).



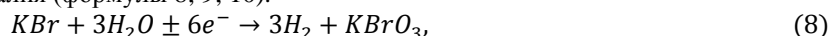
Процесс на аноде:



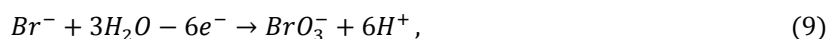
Процесс на катоде:



3) Электролиз водного раствора бромида калия (формулы 8; 9; 10).



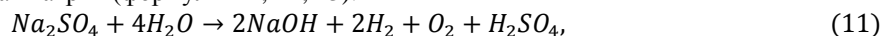
Процесс на аноде:



Процесс на катоде:



4) Электролиз водного раствора сульфат натрия (формулы 11; 12; 13).



Процесс на аноде:



Процесс на катоде:



5) Электролиз водного раствора серной кислоты (формулы 14; 15; 16).



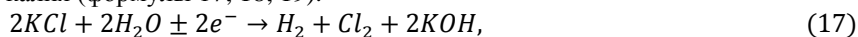
Процесс на аноде:



Процесс на катоде:



6) Электролиз водного раствора хлорида калия (формулы 17; 18; 19).



Процесс на аноде:



Процесс на катоде:



## ВЫВОДЫ

Проведен эксперимент по определению характеристик ионисторов с водными растворами электролита. На основании полученных данных были сопоставлены характеристики ионисторов на основании которых было выявлено, что наиболее целесообразно применение электролита на основе бромида калия с концентрацией в 20%. Такой результат обусловлен природой протекания процесса электролиза в водном растворе бромида калия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективные накопители энергии типа суперконденсаторов: принципы работы и применение в авиации и космической технике Бибииков С.Б., Мальцев А.А., Кошелев Б.В., Зудов К.А., Кудров М.А. Вестник Московского авиационного института. 2016. Т. 23. № 2. С. 185-194.

2. Особенности и применение ионисторов в электротехнике Бибииков С.Б., Мальцев А.А., Кошелев Б.В., Гелиев А.В. Практическая силовая электроника. 2016. № 3 (63). С. 44-55.

3. Графеновый суперконденсатор Стюхин В.В., Лапшин Э.В. Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2011. Т. 2. С. 209-211.

4. Источник бесперебойного электропитания бортовой аппаратуры Наумов Г.С., Безгрешнов К.А., Булатников Д.В., Чаплыгин А.Н. Патент на изобретение RU 2666523 C1, 10.09.2018. Заявка № 2017137856 от 30.10.2017.

5. ИОНИСТОР Деспотули А.Л., Личкова Н.В. Патент на изобретение RU 2012105 C1, 30.04.1994. Заявка № 4942624/21 от 04.06.1991.

6. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство Кузнецов В., Панькина О., Мачковская Н. Компоненты и технологии. 2005. № 6 (50). С. 12-16.

7. ИОНИСТОРЫ Горбачев В., Кочемасов В., Хорев С. Компоненты и технологии. 2020. № 7 (228). С. 10-15.

8. Конденсатор с двойным электрическим слоем - новый шаг в электронике Захаров Д.С. Форум молодых ученых. 2017. № 12 (16). С. 710-712.

9. Состояние и перспективы применения суперконденсаторов Порошин Э.В., Дойников Р.Г., Фомин Г.А., Глушков В.А. В сборнике: Приборостроение в XXI веке - 2015. Интеграция науки, образования и производства. Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции. 2016. С. 140-146.

10. Новые типы ионисторов и их исследования Логинова А.В., Марцияш Д.А. В сборнике: актуальные вопросы современных исследований. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Научно-издательский центр «Мир науки». 2018. С. 22-24.

11. Асланов Л.А., Захаров М.А., Абрамычева Н.Л. «Ионные жидкости в ряду растворителей». М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2005.

12. Г.В. Булидорова, Ю.Г. Галяметдинов, Х.М. Ярошевская, В.П. Барабанов. «Физическая химия» Книга 1 «Основы химической термодинамики, фазовое равновесие» Издательство «КДУ», 2016.

13. А.А. Кочуров, В.Ю. Гумелев, Н.П. Шевченко. «Теоретические основы решения проблемы увеличения срока службы аккумуляторных батарей» Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище, 2012. — 252 с.

14. А.В. Нечаев «Основы электрохимии» урфу, Екатеринбург 2014. — 236 с.

15. Ю.Н. Ушакова, Л.А. Калинина, Е.Г. Фоминых, Т.В. Михайличенко. «Практикум по физической химии» ЭКБСОН, г Киров, 2009 г, 94 стр.

## INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL PARAMETERS OF THE IONIS-TOR ON THE CONCENTRATION AND TYPE OF AQUEOUS SOLUTIONS OF ELECTROLYTES

Sperko L.N.,<sup>1</sup> Bekirov E.A.<sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
Email: <sup>1</sup>leva.tsiperko.96@mail.ru ; <sup>2</sup>bekirov.e.a@cfuv.ru

**Abstract.** The article presents a comparative characteristic of aqueous electrolyte solutions used for the manufacture of an ionistor. The relevance of this work lies in the use of cheap non-toxic electrolyte solutions intended for use in ionistors in order to increase the uninterrupted power supply of an agricultural facility.

**Subject of study.** Ionistors and their properties, depending on the type of electrolyte used.

**Materials and methods.** The work used empirical research methods and theoretical information to substantiate them.

**Key words:** supercapacitor; electrolyte; water solution; salt; acid; base; ions.

УДК 691.328.43

МОНИТОРИНГ УТЕЧЕК ВОДЫ В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ВСТРОЕННЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НИТЕЙДонцова<sup>1</sup> А.Е., Ольшевский<sup>1</sup> В.Я., Столяров<sup>1</sup> О.Н.<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, anne.dontsoova@gmail.com

**Аннотация.** Исследование посвящено возможностям мониторинга технического состояния бетонных трубопроводов, коллекторов, лотков, колодцев и контроля утечек в них посредством использования встроенных датчиков на основе углеродных нитей. Чувствительность электромеханических характеристик углеродных волокон к изменениям параметров внешней среды и механического напряженного состояния позволяет использовать углеродные нити как датчики, чувствительные к повреждениям и утечкам в трубопроводах. Для проведения испытаний были изготовлены образцы изделий из текстильно-армированного бетона (ТАБ) с использованием текстильного полотна из щелочестойких стеклянных и углеродных нитей. Образцы были испытаны на трехточечный изгиб, в результате чего в бетонной матрице образовались трещины, имитирующие повреждения бетонного трубопровода. Затем был проведен мониторинг значений электрического сопротивления армирующих углеродных нитей при локальном смачивании образцов в зоне повреждений. Эксперимент выявил изменения электрического сопротивления при смачивании образцов с относительным изменением до 87% от фонового значения, позволяющие судить о наличии утечки в конструкции. Средние значения относительного изменения в течение всего эксперимента составили 48%, 6%, 13% и 16% для разных образцов. При смачивании изделия из ТАБ изменения электрического сопротивления отдельной армирующей нити неоднородны, и представляют собой чередование перепадов значения и периодов плавного убывания. Электрическое сопротивление углеродных армирующих ровингов было также предварительно измерено в фоновом режиме на краткосрочном и долгосрочном периодах для оценки наличия и влияния фоновых шумов на результаты испытаний. Было выявлено, что изменения электрического сопротивления армирующих нитей при утечках незначительны на кратковременном промежутке и существенно превышают фоновые шумы на долговременном промежутке. Углеродные нити могут быть использованы в качестве встроенных датчиков мониторинга повреждений и утечек в бетонных трубопроводах.

**Предмет исследования:** изменение электрического сопротивления армирующих углеродных нитей при утечках в бетонной конструкции.

**Материалы и методы:** анализ литературы по теме исследования, проведение экспериментальных измерений электрического сопротивления углеродных нитей, анализ влияния фоновых шумов на снимаемые данные, построение графиков и визуализация экспериментальных данных.

**Результаты:** использование углеродных нитей возможно в качестве встроенных датчиков контроля утечек в бетонных трубопроводах. В экспериментах была выявлена чувствительность армирующих углеродных нитей к смачиванию бетонной конструкции. Среднее значение изменения сопротивления углеродных нитей относительно фонового значения составило от 6% до 48% для разных образцов. Изменение сопротивления при смачивании образцов превысило фоновые шумы, регистрируемые при фиксации значений электрического сопротивления углеродных нитей в отсутствие изменений внешней среды.

**Выводы:** сведения о наличии повреждений и утечек в бетонной конструкции, полученные от встроенных в бетонную конструкцию датчиков, позволяют, в частности, своевременно выполнять ремонтные работы трубопроводных сетей, избегая аварийных ситуаций, а в общем случае выявлять закономерности и особенности внутренних процессов бетонного изделия под нагрузкой и точнее предсказывать поведение эксплуатируемых бетонных конструкций.

**Ключевые слова:** текстильно-армированный бетон (ТАБ), бетонные трубы, углеродные волокна, мониторинг, электрическое сопротивление.

## ВВЕДЕНИЕ

Углеродные нити применяются для армирования различных конструкционных материалов во многих областях промышленности. Способность углеродных нитей передавать электрический сигнал может быть использована для оценки напряженного состояния нити или условий внешней среды, таких, как влажность и температура. Одним из наиболее популярных конструкционных материалов в наши дни является бетон. Процессы изготовления бетонных конструкций и набора ими прочности хорошо изучены, однако возможности

неразрушающего контроля и оценки технического состояния конструкций в ходе эксплуатации недостаточны. Исследования изменений электрического сопротивления углеродных нитей, заложенных в конструкцию при бетонировании, позволят выдвигать предположения о внутреннем состоянии изделия, на основании чего может быть произведена более точная оценка его несущей способности.

Целью данной работы является исследование чувствительности армирующих углеродных нитей к повреждениям и утечкам в бетонных трубопроводах.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Полюе бетонные цилиндрические тонкостенные конструкции могут быть использованы в различных областях строительства – в качестве безнапорных и напорных трубопроводов, оболочек для напорных трубопроводов из стали [1] и композитов [2] или в качестве фундаментных свай [3]. На протяжении многих десятилетий трубопроводы из железобетона применяются при конструировании систем водоснабжения и канализации. Чаще всего обозначенные конструкции располагаются под землёй, что вызывает дополнительные сложности в обслуживании и ремонте бетонных труб. В работах [4]–[11] описываются основные проблемы при эксплуатации и ремонте бетонных трубопроводов. Преимуществами применения бетонных труб для указанных целей являются невысокая материалоемкость в сочетании со значительной жесткостью материала (как на сжатие, так и на изгиб, из расчёта на кубический метр материала). Коллекторные бетонные трубопроводы являются наиболее частым источником аварийных ситуаций в сетях водоотведения, причем наиболее часто коррозионным повреждениям подвергается свод коллекторного трубопровода, а разрушениям – стыки труб [12]. Несмотря на регламентируемый в ГОСТ 6482-2011 «Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия» срок эксплуатации бетонных трубопроводов, составляющий 50 лет, среднестатистический срок безаварийной работы, рассчитанный в работе [13], составил 12,5 лет.

Применение текстильного армирования позволяет избежать коррозии стальной арматуры, а мониторинг состояния трубопроводов с помощью тензометрических датчиков позволяет планировать ремонтные работы во избежание аварийных отключений. Применение композитных материалов в армировании может придать бетону ряд положительных качеств, обоснованных

коррозионной стойкостью армирующих волокон. В исследовании [14] авторами выявлено улучшение адгезии камня и армирующего базальтового волокна из-за частичной деградации поверхности волокон в щелочной среде бетонирования. Преимущества применения углеродных ровингов и стекловолокна при армировании бетона, по сравнению с армированием сталью, описывается в работе [15]. В статье упоминаются возможности использования углеродного волокна в качестве тензометрического датчика, а также перспективы изготовления прочных тонкостенных бетонных конструкций. При условии совместной работы углеродной нити и армируемого материала мониторинг значений электрического сопротивления армирующей нити дает возможность делать выводы о техническом состоянии конструкции и его изменениях [15]–[27]. Знания о характере внутренних изменений в бетонных трубопроводах с течением времени позволяют избежать как аварийных разрушений, так и преждевременной замены еще рабочих конструкций. Информация о наличии утечек может быть использована в эксплуатации трубопроводных сетей для оперативной замены поврежденных участков, а возможность локализации разрушений сокращает расходы на земляные работы по поиску утечек [5], [28].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования для оценки чувствительности армирующих углеродных нитей к повреждениям и протечкам в бетоне были изготовлены образцы балочек из текстильно-армированного бетона. Образцы были изготовлены из мелкозернистого бетона. Расходы материалов приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Состав мелкозернистого бетона  
**Table 1.** The constituents of fine grained concrete

Составляющее	Цемент М400	Вода	Песок (0 – 0,63 мм)	Пластификатор
Расход, кг/м <sup>3</sup>	749	276	1367	8

В качестве армирующего материала было использовано основовязаное полотно из стеклянных и углеродных нитей двух видов переплетения: трико и цепочка. Тип переплетения нитей в полотне влияет на его прочностные свойства и на форму поперечного сечения армирующих ровингов [15]–[17].

Было изготовлено семь образцов бетонных балочек. После набора прочности бетоном, образцы балочек были испытаны на трёхточечный изгиб на электромеханической испытательной машине Instron (модель 5965). Характеристики каждого из образцов приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Характеристики изготовленных образцов бетонных балочек  
**Table 2.** Parameters of the manufactured concrete beam samples

№	Тип армирования	Размеры, мм	$F_{max}$ , Н	$\sigma$ , МПа
1	цепочка	13,8x200,0x50,0	180,22	4,26
2	цепочка	12,4x200,0x50,0	155,09	4,54
3	трико	17,8x200,0x50,0	258,41	
4	цепочка	32,2x160,0x41,4	985,50	4,27
5	без армирования	15,6x200,0x50,0	198,54	3,67
6	без армирования	19,4x200,0x50,0	224,15	2,67
7	без армирования	36,6x160,0x41,7	978,58	3,42

Изготовленные образцы бетонных балочек являлись моделями стенки трубопровода из текстильно-армированного бетона. Образец трубопровода и армирующие текстильные полотна представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Труба из ТАБ и типы армирующих полотен  
**Fig. 1.** TRC pipe and textile fabrics as reinforcements in concrete

Электропроводность углеродных нитей измерялась цифровым мультиметром DT832. Щупы мультиметра присоединялись к концам ровингов посредством соединительных кольцевых клемм или клемм типа «крокодил». Соединение щупов мультиметра с клеммами фиксировалось клейкой изолирующей лентой. При замыкании клемм друг на друге значение сопротивления составляло 0,2 Ом.

Измерения электрического сопротивления армирующих углеродных нитей проводились во

время смачивания бетонных изделий. Сначала, снятием нескольких значений, фиксировалось фоновое значение электрического сопротивления. Затем на балочки выливалась жидкость (водопроводная вода) в области трещин, полученных при проведении испытаний на трехточечный изгиб. Для исключения протекания и утекания жидкости через существующие трещины бетонных образцов, а также чтобы избежать намокания непосредственно контактов щупов мультиметра, зона смачивания была герметично

отделена от других зон бетонных балочек. Таким образом, при налипании воды в зону трещин, влага заполняла имеющиеся трещины, а текстильное армирование испытываемых балочек оказывалось погружено в воду на протяжении всего эксперимента.

Снятие значений электрического сопротивления армирующих углеродных нитей производилось двумя способами:

1. Измерение изменения электрического сопротивления углеродных ровингов при смачивании на коротком временном отрезке: значения снимались с периодом 1 с на протяжении 150 с, при этом смачивание балочки происходило в первые 10 с эксперимента;

2. Измерение изменения электрического сопротивления углеродных ровингов при смачивании на длинном временном отрезке: значения снимались с периодом 10 с на протяжении 1800 с, при этом смачивание балочки происходило также в первые 10 с эксперимента.

Между экспериментами образцы балочек оставлялись как минимум на 48 ч при комнатной температуре для полного просушивания. Таким образом исключалось взаимное влияние экспериментов на одном и том же образце.

Для оценки значимости шумов, фиксируемых при снятии значений электрического

сопротивления, для каждого из образцов бетонных балочек было проведено измерение сопротивления армирующих углеродных ровингов в условиях отсутствия изменений внешней среды. Значение относительного изменения электрического сопротивления  $\delta_{R_{cp}}$  рассчитывалось по формуле (1).

$$\delta_{R_{cp}} = \frac{(R - R_{cp})}{R_{cp}}; \quad (1)$$

где  $R_{cp}$  – среднеарифметическое значение электрического сопротивления, Ом, измеренного в течение эксперимента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Измерение фоновых изменений электрического сопротивления армирующих углеродных нитей проводилось на кратковременном и долговременном промежутках.

На кратковременном промежутке значения сопротивления фиксировались каждую секунду на протяжении 150 с. Графики относительного изменения сопротивления для каждого из образцов приведены на рисунке 2.

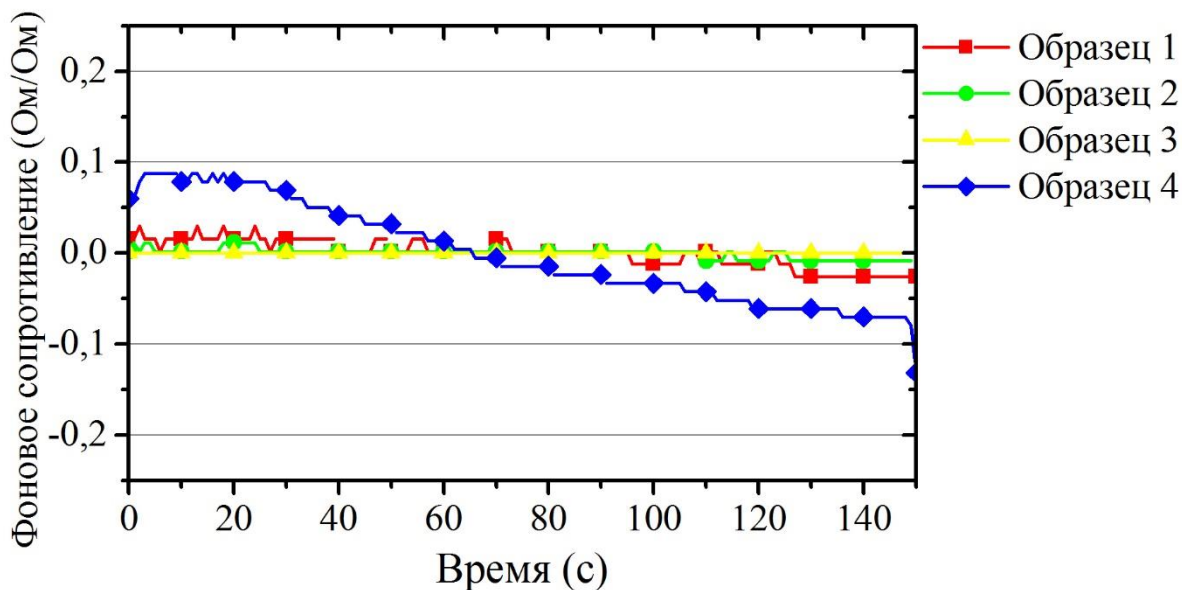
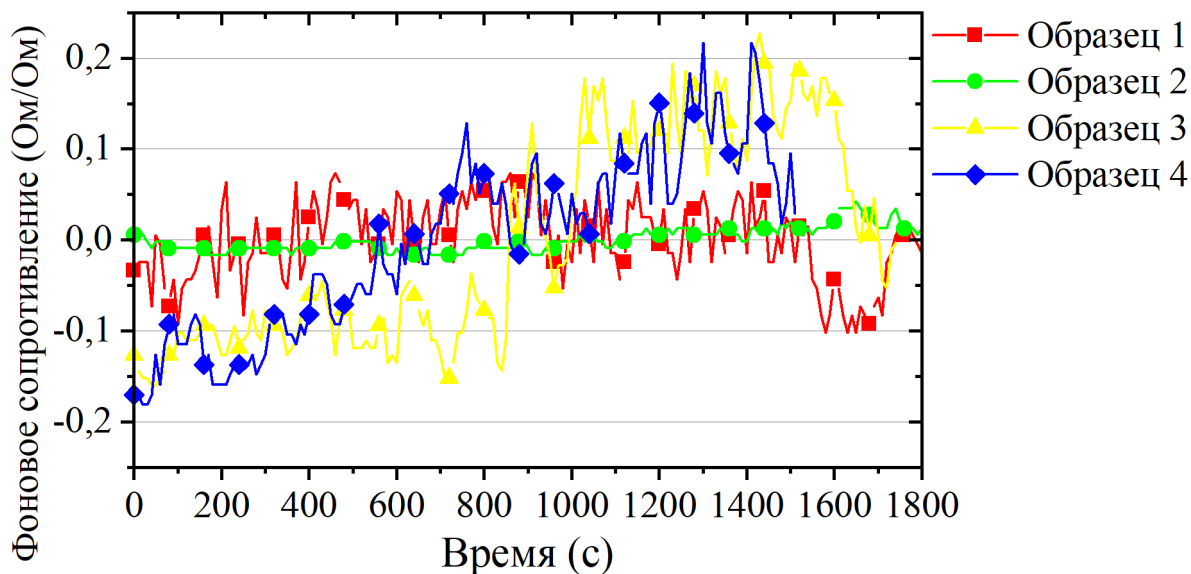


Рис. 2. Относительное изменение сопротивления нитей на кратковременном промежутке  
Fig. 2. Change in the fractional electrical resistance of carbon roving over a short period

На кратковременном промежутке фоновое изменение электрического сопротивления не превышает 10% для всех образцов, и среднее значение отклонения составляет 1,2% для образца 1; 0,4% для образца 2; 0% для образца 3; 4,7% для образца 4. Большое количество шумов при снятии значений фонового сопротивления на образце 4 может быть объяснено наибольшим повреждением образца при проведении испытания балочки на изгиб. Как следствие, часть углеродных волокон в

армирующих нитях, могла быть повреждена при испытании на изгиб, что повлияло на однородность поперечного сечения электропроводящего ровинга по его длине.

На долговременном промежутке значения сопротивления фиксировались каждые 10 с на протяжении 1800 с. Графики относительного изменения сопротивления для каждого из образцов приведены на рисунке 3.



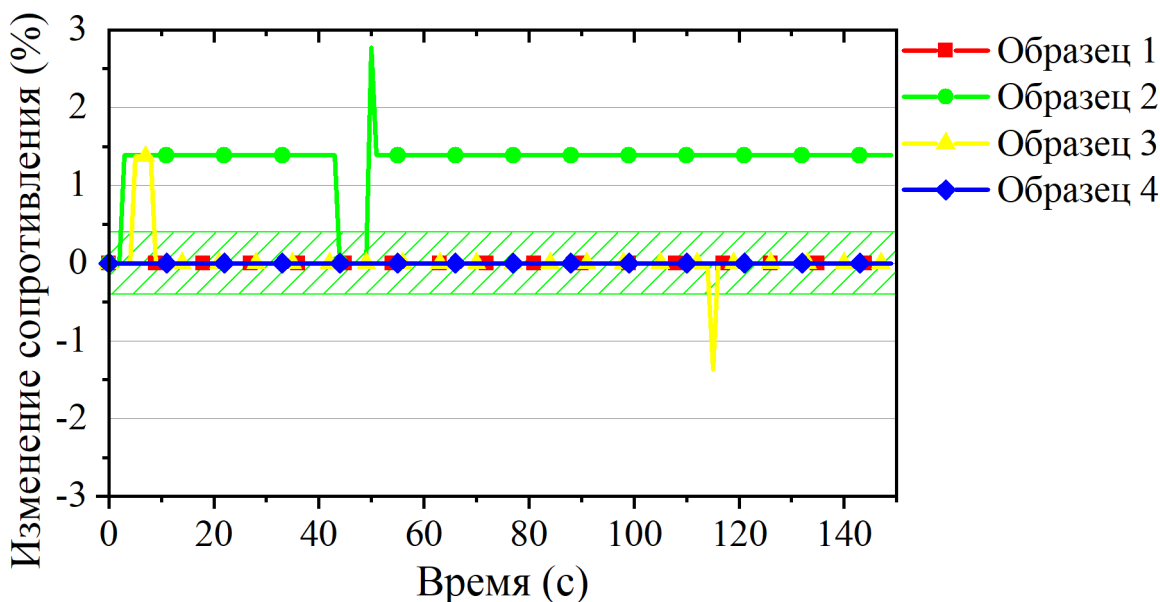
**Рис. 3.** Относительное изменение сопротивления нитей на долговременном промежутке  
**Fig. 3.** Change in the fractional electrical resistance of carbon roving over a long period

На долговременном промежутке фоновое изменение электрического сопротивления достигает 20% для образцов 3 и 4, и не превышает 10% для образцов 1 и 2. Среднее значение отклонения составляет 3,5% для образца 1; 1,1% для образца 2; 10,5% для образца 3; 8,3% для образца 4.

По результатам кратковременного и долговременного исследования электрического сигнала, проводимого углеродными армирующими

нитеями, образцы 1 и 2, армированные полотном цепочка, показали себя как наименее подверженные посторонним шумам при снятии значений электрического сопротивления.

Графики относительного изменения электрического сопротивления армирующих углеродных волокон образцов из ТАБ на кратковременном промежутке приведены на рисунке 4.



**Рис. 4.** Относительное изменение электрического сопротивления углеродных нитей при смачивании на кратковременном промежутке

**Fig. 4.** Change in the fractional electrical resistance of carbon roving during wetting over a short period

На кратковременном промежутке изменения электрического сопротивления при смачивании углеродных армирующих нитей не наблюдаются.

Графики относительного изменения электрического сопротивления армирующих

углеродных волокон образцов из ТАБ на долговременном промежутке приведены на рисунке 5.

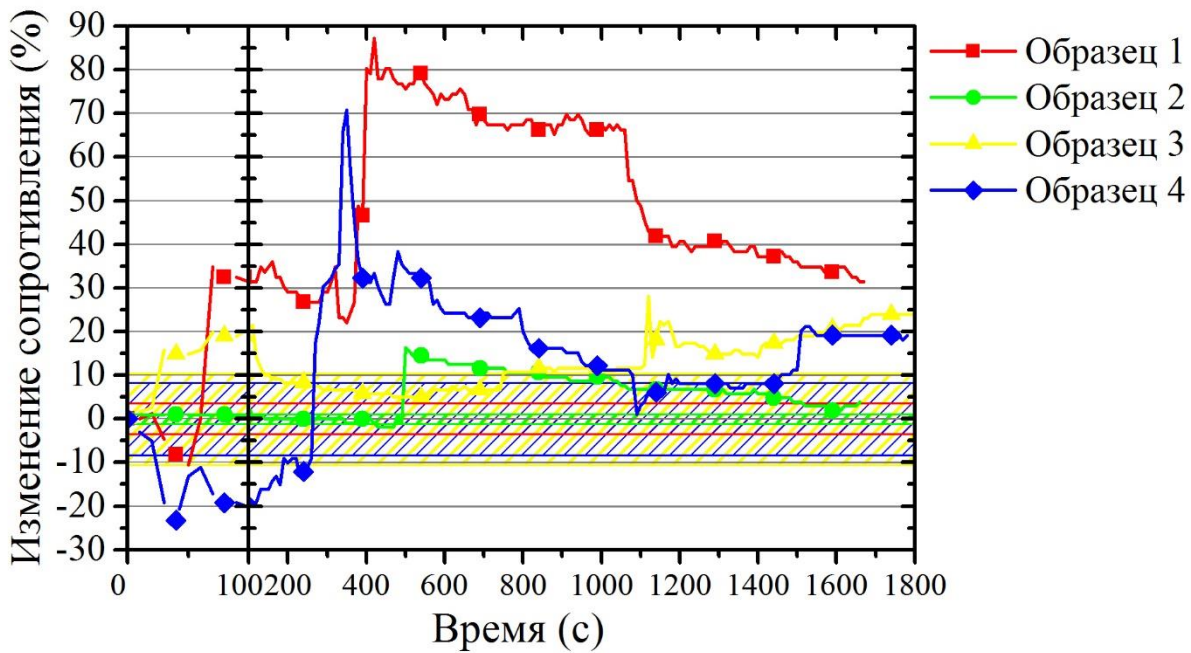


Рис. 5. Относительное изменение электрического сопротивления углеродных нитей при смачивании на долговременном промежутке

Fig. 5. Change in the fractional electrical resistance of carbon roving during wetting over a long period

На основании полученных графиков характер изменений электрического сопротивления углеродных ровингов может быть описан следующим образом:

1. Отсутствие значительных изменений в электрическом сопротивлении в период проникновения влаги от внешней грани балочки через трещины к армирующим ровингам;
2. Пик изменения сопротивления при смачивании армирующих ровингов водой. Для образцов 1, 3, 4 наблюдается через ~50 с от начала эксперимента. Для образца 2 – через ~500 с. Различие в длительности начального периода для образца 2 может быть объяснено меньшим размером трещин в образце, что повлекло за собой затруднённое проникновение влаги к углеродным нитям.
3. Чередование пиков значений с плавным изменением значений электрического

сопротивления. Как правило, между резкими перепадами электрического сопротивления, значение сопротивления плавно убывает. Пиковые изменения имеют хаотичный характер, и могут быть как возрастающими, так и убывающими.

Изменения электрического сопротивления при смачивании углеродных волокон превышают значения фоновых шумов, полученных при измерениях электрического сопротивления углеродных ровингов, не подверженных никакому воздействию со стороны окружающей среды, что позволяет провести различие между помехами измерений и наличием трещин или протечек в конструкции.

Данные по изменениям электрического сопротивления при смачивании армирующих углеродных нитей образцов балочек из ТАБ приведены в таблице 3.

Таблица 3. Изменения электрического сопротивления углеродных ровингов  
Table 3. Change in the fractional electrical resistance of carbon rovings

Относительное изменение сопротивления	№ образца			
	1	2	4	6
Среднее значение	48,4%	5,6%	12,9%	14,1%
Пиковое значение	87,2%	16,3%	28,1%	70,7%
Среднее значение фоновых шумов	3,5%	1,1%	10,5%	8,3%
Пиковое значение фоновых шумов	10,2%	4,2%	22,7%	21,7%

## ВЫВОДЫ

Эксперименты, проведенные в данной работе, доказывают возможность мониторинга технического состояния трубопроводов из ТАБ посредством контроля электрического сопротивления армирующих углеродных нитей.

В результате выполнения работы получены следующие результаты:

1. На основе методической и научной литературы проанализированы сферы применения бетонных трубопроводов. Проведена проверка соответствия свойств текстильно-армированного бетона и требований к бетонным трубопроводам. Выявлена недостаточность данных по методикам расчета и нормативной документации по применению текстильно-армированного бетона, что подтверждает необходимость проведения исследований по данному строительному материалу. Выявлены описанные в литературе способы применения углеродных армирующих нитей в качестве датчиков утечек и повреждений конструкций.

2. На основании серии экспериментов по мониторингу электрического сопротивления углеродных армирующих нитей подтверждена возможность применения углеродных ровингов в качестве датчиков повреждений и утечек в бетонной конструкции.

В дальнейших исследованиях данной темы могут быть рассмотрены следующие вопросы:

1. Определение численных коэффициентов, определяющих взаимосвязь между количеством жидкости, протекающей через конструкцию, и величиной изменения электрического сопротивления армирующих нитей;

2. Оценка чувствительности встроенных датчиков технического состояния и исследование возможностей локализации утечек в конструкции исходя из значений электрического сопротивления армирующих углеродных нитей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлова С.С. Оценка эксплуатационной надежности трубопроводов, транспортирующих сточные воды // Аграрный научный журнал. 2016. № 3. С. 59-62.

2. Shepelevich M., Puzan A. Studying crack resistance of reinforced-concrete – fibre-glass composite pressure pipes for microtunneling // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona. 2019. № 11. С. 76-88.

3. Денисов О.Л., Фаттахов М.М., Багдасарян Г.Г., Мишланова Н.А. Фундаменты из полых круглых свай под объекты нефтегазового комплекса // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 3(109). С. 179–188.

4. Jai Shankar V.P., Jebasingh V.K. A Critical Review on Mass Concrete Embedded Water Pipes as Permanent Roofing // Lecture Notes in Civil Engineering. № 83. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. С. 349-358.

5. Visitacion-Sumida B., Chavez-Vazquez M., Bellows P., Slezak L. The City of San José Demonstrates Flexibility and Resolution to Accomplish Yard Piping Repairs Safely and Quickly // Pipelines 2020. 2020. С. 130-138.

6. Siwek J., Choma M. Let's get this program started - Hidden challenges of large diameter sewer rehab projects // WEFTEC 2019 - 92nd Annual Water Environment Federation's Technical Exhibition and Conference. 2019. С. 3126-3143.

7. Engindeniz M., Zarghamee M., Crosby K., Cluff B. A Repair Program to Minimize Failure Risk of Highly Distressed PCCP Circulating Water Lines // Pipelines 2015. 2015. С. 978-988.

8. Pérez R.E., Zapata J.P.C., De La Cruz F.J.P., Peñalver F.J.L. Mitigation of damage caused to drinking water and sewage pipes during seismic and hydrological episodes // WIT Transactions on the Built Environment. 2017. №174. С. 413-426.

9. Morris A., Grafenauer T., Ambler A. City of Houston 30-Inch Water Transmission Main Replaced by Compressed Fit HDPE Pipe Lining // Pipelines 2017. 2017. С. 178-185.

10. Wells T., Williams H. Acid neutralisation behaviour of concrete sewer pipes // Australasian Corrosion Association Annual Conference: Corrosion and Prevention 2015, ACA 2015. 2015. С. 9-10.

11. Long S., Markham T., Larsen M., Pridmore A., Ojdrovic R., Engindeniz M. Discovery to Solution Implementation: NTMWD Addresses Degraded Piping under a Major Highway // Pipelines 2016. 2016. С. 1515-1522.

12. Новиков А.М. Виды повреждений сети водотока и причины их возникновения // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения. 2017. С. 172-179.

13. Дрозд Г.Я., Хвортова М.Ю. Коррозия бетонных канализационных труб // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 2(6). С. 76-84.

14. Федоркин С.И., Сироджа И.Б., Когай Э.А. Особенности формирования микроструктуры цементного камня в мелкозернистых бетонах на карбонатных заполнителях, армированных базальтовым волокном // Строительство и техногенная безопасность. 2014. № 50. С. 18-24.

15. Quadflieg T., Stolyarov O., Gries T. Carbonfaserbewehrung als Sensor für Bauwerke // Beton- und Stahlbetonbau. 2017. № 8(112). С. 541-544.

16. Perry G., Goldfeld Y. Design methodology for TRC pipes: experimental and analytical investigations // Materials and Structures. 2021. № 5(54). С. 1–20.

17. Goldfeld Y., Rabinovitch O., Fishbain B., Quadflieg T., Gries T. Sensory carbon fiber based textile-reinforced concrete for smart structures // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 2016. № 4(27). С. 469-489.

18. Goldfeld Y., Perry G. Electrical characterization of smart sensory system using carbon based textile reinforced concrete for leakage detection // Materials and Structures. 2018. № 6(51). С. 170.

19. Goldfeld Y., Ben-Aarosh S., Rabinovitch O.,

Quadflieg T., Gries T. Integrated self-monitoring of carbon based textile reinforced concrete beams under repeated loading in the un-cracked region // *Carbon*. 2016. № 98. С. 238-249.

20. Goldfeld Y., Quadflieg T., Ben-Aarosh S., Gries T. Micro and macro crack sensing in TRC beam under cyclic loading // *Journal of Mechanics of Materials and Structures*. 2017. № 5(12). С. 579-601.

21. Goldfeld Y., Yosef L. Electrical-structural characterisation of smart carbon-based textile reinforced concrete beams by integrative gauge factors // *Strain*. 2020. № 4(56). С. e12344.

22. Goldfeld Y., Quadflieg T., Gries T. Sensing capabilities of carbon based TRC beam from slack to pull-out mechanism // *Composite Structures*. 2017. № 181. С. 294-305.

23. Quadflieg T., Goldfeld Y., Dittel G., Gries T. New Age Advanced Smart Water Pipe Systems Using Textile Reinforced Concrete // *Procedia Manufacturing*. 2018. № 21. С. 376-383.

24. Perry G., Dittel G., Gries T., Goldfeld Y. Monitoring capabilities of various smart self sensory carbon-based textiles to detect water infiltration // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2021. № 20(32). С. 2566-2581.

25. Perry G., Goldfeld Y. Smart self-sensory TRC pipes – proof of concept // *Smart Materials and Structures*. 2022. № 5(31). С. 055011.

26. Донцова А.Е., Ольшевский В.Я., Столяров О.Н. Композитные трубы из текстильно-армированного бетона в инженерных системах зданий и сооружений // *Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции, 26-30 апреля 2021 г. В 3 ч. Ч. 1*. 2021. С. 10-12.

27. Донцова А.Е., Ольшевский В.Я., Столяров О.Н. Мониторинг утечек воды в бетонных трубах с помощью встроенных датчиков на основе углеродных нитей // *Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции, 4-10 апреля 2022 г. В 3 ч. Ч. 1*. 2022. С. 237-238.

28. Stolyarov O., Quadflieg T., Gries T. A study of warp-knitted fabric structure parameters affecting the mechanical properties of textile-reinforced concrete // *ICCM International Conferences on Composite Materials*. 2015.

## REFERENCES

1. Orlova S.S. Assessment of the operational reliability of pipelines transporting wastewater. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2016. No. 3. Pp. 59-62. (In Russian).

2. Shepelevich M., Puzan A. Studying crack resistance of reinforced-concrete – fibre-glass composite pressure pipes for microtunneling. *Problemy sovremenogo betona i zhelezobetona*. 2019. No. 11. Pp. 76-88. DOI:10.35579/2076-6033-2019-11-06. (In Russian).

3. Denisov O.L., Fattahov M.M., Bagdasarjan G.G., Mishlanova N.A. Foundations from hollow round piles for oil and gas facilities. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov*. 2017. No. 3. Vol. 109. Pp. 179-188. (In Russian).

4. Jai Shankar V.P., Jebasingh V.K. A Critical Review on Mass Concrete Embedded Water Pipes as Permanent Roofing. *Lecture Notes in Civil Engineering*. No. 83. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. Pp. 349-358.

5. Visitacion-Sumida B., Chavez-Vazquez M., Bellows P., Slezak L. The City of San José Demonstrates Flexibility and Resolution to Accomplish Yard Piping Repairs Safely and Quickly. *Pipelines 2020*. 2020. pp. 130–138. DOI:10.1061/9780784483206.015.

6. Siwek J., Choma M. Let's get this program started - Hidden challenges of large diameter sewer rehab projects. *WEFTEC 2019 - 92nd Annual Water Environment Federation's Technical Exhibition and Conference*. 2019. Pp. 3126-3143.

7. Engindeniz M., Zarghamee M., Crosby K., Cluff B. A Repair Program to Minimize Failure Risk of Highly Distressed PCCP Circulating Water Lines. *Pipelines 2015*. 2015. Pp. 978-988. DOI:10.1061/9780784479360.090.

8. Pérez R.E., Zapata J.P.C., De La Cruz F.J.P., Peñalver F.J.L. Mitigation of damage caused to drinking water and sewage pipes during seismic and hydrological episodes. *WIT Transactions on the Built Environment*. 2017. No. 174. Pp. 413-426. DOI:10.2495/SAFE170381.

9. Morris A., Grafenauer T., Ambler A. City of Houston 30-Inch Water Transmission Main Replaced by Compressed Fit HDPE Pipe Lining. *Pipelines 2017*. 2017. pp. 178–185. DOI:10.1061/9780784480892.018.

10. Wells T., Williams H. Acid neutralisation behaviour of concrete sewer pipes. *Australasian Corrosion Association Annual Conference: Corrosion and Prevention 2015, ACA 2015*. 2015. Pp. 9-10.

11. Long S., Markham T., Larsen M., Pridmore A., Ojdrovic R., Engindeniz M. Discovery to Solution Implementation: NTMWD Addresses Degraded Piping under a Major Highway. *Pipelines 2016*. 2016. Pp. 1515–1522. DOI:10.1061/9780784479957.141.

12. Novikov A.M. Types of damage to the sewerage network and their causes. *Nauka i innovacii v XXI veke: aktual'nye voprosy, otkrytija i dostizhenija*. 2017. Pp. 172-179. (In Russian).

13. Drozd G.Ja., Hvortova M.Ju. Corrosion of concrete sewer pipes. *Agrotehnika i jenergoobespechenie*. 2015. No. 2. Vol. 6. Pp. 76-84. (In Russian).

14. Quadflieg T., Stolyarov O., Gries T. Carbonfaserbewehrung als Sensor für Bauwerke. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2017. No. 8. Vol. 112. Pp. 541-544. DOI:10.1002/best.201700016.

15. Fedorkin S.I., Sirodzha I.B., Kogaj Je.A. Features of the formation of the microstructure of cement stone in fine-grained concretes on carbonate aggregates reinforced with basalt fiber. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'*. 2014. No. 50. Pp. 18-24. (In Russian)

16. Perry G., Goldfeld Y. Design methodology for TRC pipes: experimental and analytical investigations. *Materials and Structures*. 2021. No. 5. Vol 54. Pp. 1-20. DOI:10.1617/s11527-021-01778-8.

17. Goldfeld Y., Rabinovitch O., Fishbain B., Quad-

flieg T., Gries T. Sensory carbon fiber based textile-reinforced concrete for smart structures. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2016. No. 4. Vol. 27. Pp. 469-489.

18. Goldfeld Y., Perry G. Electrical characterization of smart sensory system using carbon based textile reinforced concrete for leakage detection. *Materials and Structures*. 2018. No. 6. Vol. 51. Pp. 170.

19. Goldfeld Y., Ben-Aarosh S., Rabinovitch O., Quadflieg T., Gries T. Integrated self-monitoring of carbon based textile reinforced concrete beams under repeated loading in the un-cracked region. *Carbon*. 2016. No. 98. Pp. 238-249.

20. Goldfeld Y., Quadflieg T., Ben-Aarosh S., Gries T. Micro and macro crack sensing in TRC beam under cyclic loading. *Journal of Mechanics of Materials and Structures*. 2017. No. 5. Vol. 12. Pp. 579-601.

21. Goldfeld Y., Yosef L. Electrical-structural characterisation of smart carbon-based textile reinforced concrete beams by integrative gauge factors. *Strain*. 2020. No. 4. Vol. 56. Pp. e12344.

22. Goldfeld Y., Quadflieg T., Gries T. Sensing capabilities of carbon based TRC beam from slack to pull-out mechanism. *Composite Structures*. 2017. No. 181. Pp. 294-305.

23. Quadflieg T., Goldfeld Y., Dittel G., Gries T. New Age Advanced Smart Water Pipe Systems Using

Textile Reinforced Concrete. *Procedia Manufacturing*. 2018. No. 21. Pp. 376-383.

24. Perry G., Dittel G., Gries T., Goldfeld Y. Monitoring capabilities of various smart self sensory carbon-based textiles to detect water infiltration. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2021. No. 20. Vol. 32. Pp. 2566-2581.

25. Perry G., Goldfeld Y. Smart self-sensory TRC pipes-proof of concept. *Smart Materials and Structures*. 2022. No. 5. Vol. 31. Pp. 055011.

26. Dontsova A.E., Ol'shevskij V.Ja., Stoljarov O.N. TRC pipes in engineering systems of buildings and structures. *Nedelja nauki ISI : sbornik materialov Vserossijskoj konferencii, 26-30 aprelja 2021. V 3 ch. Vol. 1. 2021. Pp. 10-12.*

27. Dontsova A.E., Ol'shevskij V.Ja., Stoljarov O.N. Leakage monitoring of textile-reinforced concrete pipelines using integrated carbon fiber sensors. *Nedelja nauki ISI : sbornik materialov Vserossijskoj konferencii, 4-10 aprelja 2022 g. V 3 ch. Vol. 1. 2022. Pp. 237-238.*

28. Stolyarov O., Quadflieg T., Gries T. A study of warp-knitted fabric structure parameters affecting the mechanical properties of textile-reinforced concrete. *ICCM International Conferences on Composite Materials*. 2015.

## WATER INFILTRATION DETECTION OF CONCRETE STRUCTURES USING INTEGRATED CARBON FIBER SENSORS

Dontsova<sup>1</sup> A.E., Olshevskiy<sup>1</sup> V.Ya., Stolyarov<sup>1</sup> O.N.

<sup>1</sup> Peter The Great Saint-Petersburg Polytechnical University, 195251, Russia, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29, anne.dontsoova@gmail.com

**Abstract.** This article aims to develop the sensory possibilities of carbon rovings used as built-in leakage sensors to perform concrete pipelines' structural health monitoring. The sensitivity of electromechanical behavior of carbon rovings allows the researchers to use the rovings as leakage sensors. This way the concrete pipelines can be surveyed remotely and nondestructively. In this study, the textile-reinforced concrete (TRC) specimens were manufactured using woven textile of glass and carbon rovings. The specimens were tested for three-point bending. As a result, micro and macro cracking of concrete took place imitating operational damage of a real pipe. Later on, the specimens were locally wetted in the cracked areas while monitoring of reinforcing carbon rovings electrical resistivity was carried out. The measurements showed relative changes in electrical resistivity up to 87% of the initial value. The significant changes in the carbon roving's electromechanical parameters allow the researchers to indicate piping failures causing leakage. Average values of carbon rovings' electrical resistivity relative changes reached 48%, 6%, 13%, and 6% for different samples. The resistance variation behavior is heterogeneous and represents a complex of sharp shifts and smooth decreases. Additionally, preliminary monitoring of carbon rovings electrical resistivity with no wetting had been carried out to compare the wetting event resistance changes and the incidental interference of the electrical signal. The short-term resistance changes turned out to be insignificant, but the long-term variation of electrical resistance after the wetting event was far outweighing the background signal disturbances. In conclusion, the carbon rovings are applicable to be used as built-in sensors for concrete pipelines' structural health assessment.

**Subject:** reinforcing carbon rovings' electrical resistance change during leakage events in concrete structures.

**Materials and methods:** scientific literature review, experimental measurements of carbon rovings' electrical resistance during wetting events, analysis of incidental interference of the electrical signal, plotting and visualization of experimental data.

**Results:** carbon rovings are sufficient to be used as built-in leakage sensors in concrete pipelines. The experiments revealed sensory abilities of the carbon rovings to a wetting of a concrete structure. The average value of the relative resistance change ranged from 6% to 48% for different samples. However, the relative resistance change because of wetting events exceeded the background noise of the electrical signal in all cases.

**Conclusions:** The knowledge about the damage and the leakage in the concrete structures is useful both for two purposes. First of all, in particular, it allows to perform the survey and repair of concrete pipelines avoiding the emergencies and without expensive ground works in search of a failure. Secondly, in general case, the knowledge allows the research to identify the patterns of the internal behavior of the concrete structure under load and to predict the failure behavior more accurately.

**Keywords:** textile-reinforced concrete (TRC), concrete pipelines, carbon rovings, structural health monitoring, electrical resistance.

## Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 655.557: 655.7

### ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЕЙ ДЛЯ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Урецкий Е.А.<sup>1</sup>, Николенко И.В.<sup>2</sup>, Мороз В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие Белорусский государственный проектный институт “БелГПИ”  
210602, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. Пушкина, 6, e-mail: euretsky@yandex.by

<sup>2</sup>Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 181 e-mail: energia-09@mail.ru

<sup>3</sup>Брестский государственный технический университет  
224017 Республика Беларусь г. Брест, ул. Московская, 267

**Аннотация.** Проведены исследования процесса контактного хлопьеобразования и разработаны высокоэффективные осветлительные установки, оборудованные полочными модулями и контактными хлопьеобразователями перед входом сточных вод и на выходе из него. Эффективность осветления тонкослойного модуля с нисходяще-восходящим потоком воды и встроенными камерами хлопьеобразования достигает задержания взвеси до 93% и более. Также осуществлена реконструкция вертикальных отстойников емкостью 200 м<sup>3</sup> очистных сооружений базового предприятия Брестского электро-механического завода путём добавления в них камеры хлопьеобразования и полочных вставок. Предложенная реконструкция существующих вертикальных отстойников позволила повысить эффект осветления с 50...60% до 93%, многократно увеличить межпромывочный период зернистой загрузки механических фильтров, существенно снизить вероятность выноса осадка.

**Предмет исследования.** Процесс контактного хлопьеобразования на реальных сточных водах для повышения эффективности осветления промышленных сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат с применением полочных отстойников.

**Материалы и методы исследования:** В работе проведены теоретические и экспериментальные исследования для обоснования принципиальной возможности избирательного хлопьеобразования и накопления осадка с преобладающим содержанием металлов в модернизированных полочных отстойниках. При проведении экспериментальных исследований показано существенное повышение эффект осветления за счет установки в полочных осветлителях тонкослойного модуля со встроенными камерами хлопьеобразования.

**Результаты.** Для сточных вод с преобладающим содержанием гидроокисной взвеси с низкой плотностью, переменной концентрацией и свойствам обоснована необходимость установки крупнозернистой камеры хлопьеобразования в центральной трубе вертикального отстойника для достижения эффективности задержания взвеси 75...80%, против 50...60% без ее использования. Достигнута эффективность работы осветлителей до 93% за счет добавления в него сборных полочных модулей, что многократно увеличивает межрегенерационный период загрузки механических фильтров.

**Выводы.** По результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований сформулированы основные принципы подхода к конструированию тонкослойных модулей, обеспечивающих повышение эффективности осветлителей для сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат. Показано, что совершенствование полочных отстойников обеспечивает их эффективное применения в осветлителях сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат, как в целом так и за счёт добавления в их конструкцию контактного хлопьеобразования.

**Ключевые слова:** сточная вода, осветление, тонкослойный отстойник, полочные вставки, контактные хлопьеобразователи, фильтрующая загрузка, рН, эффективность осветления.

## ВВЕДЕНИЕ

На долю промышленного производства приходится до четверти всего мирового водопотребления. В большинстве промышленно развитых стран 50...80% общего спроса пресной воды используется в промышленном производстве. По мере индустриализации развивающихся стран, где большая часть воды в настоящее время используется в сельском хозяйстве, потребности в воде для промышленности будут неуклонно и быстро расти.

В отличие от воды, используемой в сельском хозяйстве, фактически в технологических процессах потребляется лишь небольшая часть промышленной воды. Большая ее часть используется для охлаждения, смешения, очистки, обработки и

других видов технологических процессов, которые нагревают или загрязняют водную среду, но не теряют воду и не потребляют ее с включением в готовую продукцию. Это создает возможность повторного использования, то есть рециркуляции водных ресурсов в промышленном производстве, тем самым получая больше продукции с каждого кубометра потребляемой воды. Многократная очистка и повторное использование воды в промышленности является наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по предотвращению загрязнения окружающей среды. В большинстве промышленно развитых стран экологические нормы требуют, чтобы промышленное производство обеспечивало определенные стандарты качества воды, прежде чем выпускать сточные воды в окружающую среду. В результате, международный опыт показал, что

наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по загрязнению окружающей среды является рециркуляция воды в промышленном производстве [1, 2, 3].

Законодательство в сфере экологии по борьбе с загрязнением окружающей водной среды не только помогли очистить реки, озера и ручьи, но и способствовали сохранению и более эффективному использованию водных ресурсов. Важным стимулом промышленной рециркуляции воды является экологические нормы и правила, на основании действующей законодательной базы по борьбе с промышленным загрязнением водных ресурсов. Совершенствование существующих, и разработка новых технологий по очистке сточных вод способствует решению актуальной проблемы - более качественной переработке промышленных отходов и снижению наносимого ущерба окружающей среде отходами производства [4].

Современной отраслью промышленности, обеспечивающей инновационный путь развития многих стран и их регионов, является радиоэлектроника и производство компьютерной и телекоммуникационной техники. Интенсивное развитие и организация новых производств промышленного выпуска широкой номенклатуры компьютерной и телекоммуникационной техники, радиоэлектронной аппаратуры, их комплектующих с высокой конкурентоспособностью требует снижения затрат на организацию производства, в том числе на уменьшение негативного влияния на экологию. На предприятиях радиоэлектроники и приборостроения пресная вода используется во всех основных технологических процессах: в электрохимических, гальванических производствах, в процессах обезжиривания, в охлаждающих системах установок сварки, вакуумных установок напыления, печей и т.д. [5]. Поэтому вспомогательные и обслуживающие структурные подразделения таких предприятий являются основными потребителями ресурсов, в том числе пресной водой. Большие объемы потребления пресной воды и значительные платы за загрязненную технологическую воду привели к необходимости очистки и повторного использования в производстве сточных вод. Суммарные затраты на рециркуляцию воды в радиоэлектронном производстве могут занимать существенную часть в стоимости продукции, так как загрязнения сточных вод могут иметь сложный и различный характер. Поэтому оптимизация производственных процессов вспомогательных и обслуживающих производств на радиоэлектронных предприятиях при создании эффективной технологии обработки сточных вод может обеспечить существенное снижение себестоимости основной продукции, за счет экономии финансовых средств на поставку свежей воды и снижение затрат, связанных с промышленным загрязнением водных ресурсов.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оборотные циклы промышленного водоснабжения технически возможны и эффективны, так как в настоящее время имеют большое экономическое и экологическое значение. Важным этапом очистки сточной промышленной воды является ее осветление, то есть удаления из нее частиц веществ, находящихся во взвешенном или коллоидном состоянии, которые, как правило, определяют повышенную мутность и цветность воды. Необходимость и степень такой очистки воды зависит от целей последующего ее использования. Выбор метода осветления – один из главных пунктов при разработке технологии очистки, так как он скажется в дальнейшем на всем процессе водоподготовки. В зависимости от требуемой степени очистки могут применяться разные методы осветления воды, которые основаны на применении различных физических, химических и физико-химических процессов. Необходимая степень осветления и обесцвечивания воды во многом зависит от целей ее последующего использования, а технологические приемы и аппаратное оформление, используемые при этом, определяются размерами взвешенных частиц, их концентрацией и физико-химическими свойствами. Для достижения требуемой степени очистки воды от взвешенных веществ очень часто эти методы осветления воды применяются в комбинации друг с другом: например, отстаивание с фильтрованием или коагуляция с отстаиванием и фильтрованием и т.д. Эффект осветления может быть повышен при использовании химической обработки воды, что обуславливает применения вспомогательных процессов, таких как: коагуляция, флокуляция и химическое осаждение.

Взвешенные примеси, находящиеся в воде, обладают различной дисперсностью – от крупных частиц, которые быстро оседают под действием силы тяжести, до микрочастиц, которые образуют коллоидные системы. Высокая эффективность устройств для осветления воды особенно важна при внедрении малозатратной энергосберегающей технологии очистки сточных вод, в рамках очистных сооружений реагентного типа. Повторное использование промышленных сточных вод невозможно без тщательного их осветления на высокопроизводительных очистных сооружениях [6-12]. В практике проектирования современных очистных сооружений сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат наблюдается тенденция применения известных технических и технологических решений в области осветления. Как показал анализ ряда проектов очистных сооружений предприятий радиоэлектроники, в которых на стадии осветления применялись полочные отстойников, их установка не обеспечивала высокого эффекта осветления, в связи с необратимым заполнением межполочного пространства осадком, а также недолговечность материала полок. Это и послужило поводом для

отказа от тонкослойного отстаивания, несмотря на то, что в других отраслях его применение обеспечивали эффективное осветление сточной воды [9, 11]. Следует отметить, что выявленные дефекты не дискредитируют идею тонкослойного отстаивания, а только подтверждают ошибочность заимствования техники из смежных отраслей без предварительного учета особенностей технологии образования и обработки сточных вод в рассматриваемых технологических процессах. Главная причина заключается в том, что концентрация взвеси, её состав и свойства на предприятиях радиоэлектроники и приборостроения изменяются непрерывно. Это противоречит основному принципу конструирования и расчета геометрических размеров полочных отстойников: постоянство нагрузки, начальной и конечной концентрации взвеси, её дисперсности и плотности. Кроме того, в реальных сточных водах масса частиц гидравлической крупности менее 0,05 см/с составляет более 80 %.

Поэтому целью данной работы является совершенствованию полочных отстойников для возможности их применения в осветлителях сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат, как в целом так и за счёт добавления в их конструкцию контактного хлопьеобразования. Для чего необходимо проведение детального исследования процесса контактного хлопьеобразования и на результатах этих исследований разработка высокоэффективных осветлительных установок, оборудованных полочными модулями и контактными хлопьеобразователями перед входом сточных вод и на выходе из него.

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились только на натурном стоке с использованием промышленных аппаратов и полупроизводственных нестандартных установок для компоновки схемы доочистки. Такая линия была разработана и смонтирована на очистных сооружениях базового объекта Брестского электромеханического завода (БЭМЗ). Она состояла из полупроизводственных установок 1 и 2 ступеней для осветления сточных вод и промышленных аппаратов для обессоливания электродиализом и ионообменном [9, 11]. Линия была оборудована необходимыми промежуточными ёмкостями для накопления сточных вод и насосами для перекачки в систему технического водоснабжения. Отбор проб для определения содержащихся в воде основных лимитированных показателей проводился на всех стадиях обработки стоков. Для определения использовались стандартные методики. Серии «сквозных» экспериментов чередовались с отработкой параметров отдельных её элементов. Результаты исследований приведены в следующих разделах.

**Контактное хлопьеобразование перед осветлением в тонкослойном модуле и на выходе.**

Формирование хлопьев гидроокисей в реакторе-нейтрализаторе происходит при активном массообмене за счёт перемешивания системы мешалками химических реакторов. Однако длительное перемешивание приводит к разрушению хлопьев и утраты их тиксотропных свойств. В практике водоподготовки эти последствия устраняются подбором соответствующего времени пребывания системы в реакторе. В рассматриваемых условиях целесообразно в качестве устройства для накопления и укрупнения хлопьев перед седиментацией использовать зернистый слой. При движении суспензий в зернистой среде происходят процессы коагуляции пор и суффозии из них накопившегося материала.

В начальный период преобладает задержание взвеси с изъятием из потока твёрдой фазы. В конечный - увеличение концентрации твёрдого в потоке за счёт изъятия агрегатов взвеси из пор фильтрующего слоя. Выполнен анализ как начальной стадии, так и конечной для реализации фильтрования суспензии и регенерации загрузки контактного зернистого хлопьеобразователя (КЗХО), устанавливаемого перед входом в полочный модуль и после него, в том числе и состоянии зернистой загрузки в состоянии пересыщения осадком [9, 11, 12].

Рассмотрим зернистую среду, находящуюся в состоянии пересыщения осадком, в стационарном состоянии, когда количество осадка в нём меняется. В каждом сечении этой загрузки концентрация осевших частиц равна концентрации отрывающихся частиц. Предположим, что поступающая на вход зернистой загрузки концентрация осевших частиц с концентрацией  $C_0$ . Вследствие сделанного предположения, на выходе, а также в любом сечении загрузки, концентрация суспензии также равна  $C_0$ , однако распределение частиц по размерам меняется, и в выходном сечении содержание вторичных (укрупнённых) частиц будет максимальным. Обозначим текущую концентрацию первичных частиц в сточных водах  $C_1$ , в осадке –  $a_1$ , соответственно вторичных частиц –  $C_2$  и  $a_2$ .

Уравнение баланса для них имеет вид:

$$V \frac{\partial C_1}{\partial x} + \frac{\partial a_1}{\partial t} = 0, \quad V \frac{\partial C_2}{\partial x} + \frac{\partial a_2}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость фильтрации. В силу стационарности режима имеет очевидные соотношения:

$$C_1 + C_2 = C_0, \quad a_1 = a_2 = a_0, \quad (2)$$

где  $a_0$  – полная ёмкость фильтровальной загрузки. Кинетика прилипания первичных частиц описывается внешнедиффузионным уравнением:

$$\frac{\partial a_1}{\partial t} = \beta C_1, \quad (3)$$

причём в силу (2) отрыв частиц определяется скоростью прилипания первичных частиц взвеси, т. е.

$$\frac{\partial a_2}{\partial t} = -\frac{\partial a_1}{\partial t},$$

Решение системы (1) - (3) имеет вид:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp\left(-\frac{\beta x}{V}\right), \quad \frac{C_2}{C_0} = 1 - \frac{C_1}{C_0} \quad (4)$$

и является стационарным. Таким образом, степень обогачения суспензии вторичными частицами определяется кинетикой прилипания частиц. Чем выше кинетический коэффициент  $\beta$  и длина фильтровальной загрузки, тем эффективнее происходит процесс агрегирования.

Кинетический коэффициент  $\beta$  зависит от свойств осадка и гидродинамических условий в закольцованном слое. В литературе отсутствуют данные о параметрах фильтрования в области пересыщения фильтра осадком. Однако для оценок можно воспользоваться теми данными, которые приводятся в литературе для стадии формирования осадка, то есть в докритической области.

Кинетический коэффициент  $\beta$  для песчаной фильтровальной по данным Минца [7, 8] зависит от скорости  $V$  и диаметра зёрен загрузки в соответствии с формулой

$$\beta = b_0 \cdot V^{0,3} \cdot d^{-1,4} \quad (5)$$

и может быть рассчитан методом технологического моделирования. Более точные зависимости от условий фильтрации могут быть определены на основе экспериментальных данных.

Укажем способ выбора условий фильтрования в «запредельной» области». Длина фильтра  $l$ , размер зёрен  $d$  и скорость  $V$  фильтрации выбираются таким способом, чтобы для суспензии заданного качества обеспечить заданную степень осветления на чистой загрузке, см. формулу (4). Тогда соответствующая степень агрегирования может быть достигнута при тех же условиях фильтрации в области пересыщения фильтра.

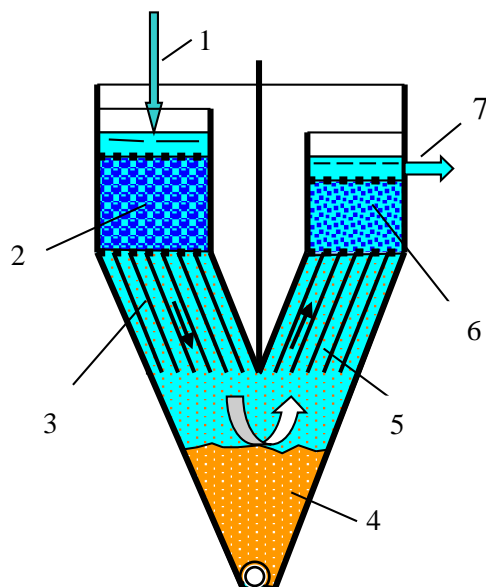
Поскольку степень осветления после КЗХО практически не лимитируется, а длина его

фильтровальной загрузки должна быть минимальной, остаётся варьировать размером зёрен и скоростью движения жидкости в фильтре. Скорость должна быть достаточной для транспортирования крупных агрегатов взвеси в поровом пространстве, а величина поровых каналов на порядок выше хлопьев.

Расчёты показывают, что для агрегатов взвеси 1 мм скорость фильтрования более 6 м/ч, диаметр горловин поровых каналов не менее 10 мм, что соответствует размерам зёрен 40...60 мм. Простая форма зёрен и их гладкая поверхность гарантирует отрыв и выход в зону седиментации достаточно крупных агрегатов. Массовому отрыву и выносу созревших хлопьев предшествует стадия «насыщения» фильтра, которая тем продолжительнее, чем больше длина (высота) зернистого слоя и больше период «старения» осадка. Это также надо учитывать при выборе конструктивных размеров КЗХО. Схема хлопьеобразования на опытной установке представлена на рис.1.

Исследования на реальном стоке базового предприятия подтвердили все эти положения. Вместе с тем установлено, что часть дисперсной взвеси (в основном микрохлопья гидроокиси меди) не участвует в процессе хлопьеобразования на ультракрупнозернистой загрузке. Дополнительно КЗХО из гранул вспененного полистирола диаметром 1...3 мм, установленный на выходе из тонкослойного модуля, обеспечил укрупнение хлопьев гидроокиси меди при ограниченной длине зернистого слоя. Таким образом, показана принципиальная возможность избирательного хлопьеобразования и накопления осадка с преобладающим содержанием металлов.

Важной особенностью КЗХО является его низкая чувствительность к колебаниям концентрации взвеси и к изменениям скорости движения системы в пористой среде (разумеется в известных пределах). Это позволяет существенно улучшить осветление стоков при колеблющемся их расходе и изменяющемся их составе в высокопроизводительных осветлительных устройствах.



**Рис. 1.** Схема тонкослойного модуля со встроенными камерами хлопьеобразования:  
1 – вода на осветление; 2 – входная камера хлопьеобразования; 3 – нисходящий пакет; 4 – осадок; 5 – восходящий пакет; 6 – выходная камера хлопьеобразования; 7 – осветленная вода.

**Fig. 1.** Scheme of a thin-layer module with integrated flocculation chambers:  
1 – water for clarification; 2 – input flocculation chamber; 3 – descending package; 4 – sediment; 5 – ascending package; 6 – output flocculation chamber; 7 – clarified water.

**Тонкослойное осветление.** Не менее важным следует считать более высокий удельный объем гидроокисного осадка (10...15 %) и сравнительно низкую концентрацию твердой фазы (4...5 г/л). При таких свойствах осадка требуется значительный объем иловой части, должны быть учтены также высокие структурно-механические и адгезионные свойства осадка при выборе режимов его удаления из межполочного пространства и накопителя. Выбор материала полок и конструкции их крепления; в пакетах традиционно сложен. В настоящее время имеется ряд технических решений, где можно выбрать наиболее приемлемые конструкции [6 - 9]. Во всех случаях трудности уменьшаются по мере сокращения длины полок.

Учитывая изложенное, сформулированы основные принципы подхода к конструированию модулей для стоков с преобладающим содержанием гидроокисной взвеси с низкой плотностью, переменной концентрацией и свойствами.

1. Отстойник выполняется многосекционным для удобства организации периодической их продувки, предупреждающей зависание осадка в межполочном пространстве и переполнение отстойной части. Обязательно наличие отдельного осадкоуплотнителя на группу секций. Соотношение отстойной и осадочной части от 1: 6 до 1: 10.

2. Для сокращения общей высоты отстойника целесообразно принимать нисходяще-восходящие модули. При этом площадь сечения нисходящего модуля может быть вдвое меньше расчетной площади восходящего модуля. Таким образом, значительная часть осадка из нисходящего модуля будет вымываться попутным потоком жидкости. Снижение концентрации взвеси и скорости движения в восходящем модуле способствует более глубокому осветлению воды.

Таким образом, упрощаются системы подвода-отвода и распределения воды по сечению модуля.

3. Укрупнение и стабилизация величины частиц взвеси достигается принудительным хлопьеобразованием. При необходимости дополнительный фильтр может быть установлен над восходящим модулем. Он является дополнительным хлопьеобразователем перед сооружениями второй ступени осветления.

На рис. 2 показана схема модуля, изготовленного из металла и установленного на линии доочистки стоков.

Модуль содержит две камеры хлопьеобразования – входную и выходную, два полочных пакета – нисходящий и восходящий, конусную часть для сбора и уплотнения осадка. Площадь восходящего пакета вдвое больше площади нисходящего, угол наклона 60°. Входная камера загружена кубиками вспененного полистирола, размерами 40-60 мм, выходная – зёрнами гранулированного полистирола диаметром 2-5 мм. Общая площадь отстойника 0,54 м<sup>2</sup>.

Были исследованы различные режимы работы отстойника при различных нагрузках на аппарат от 2 до 8 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>/ч.

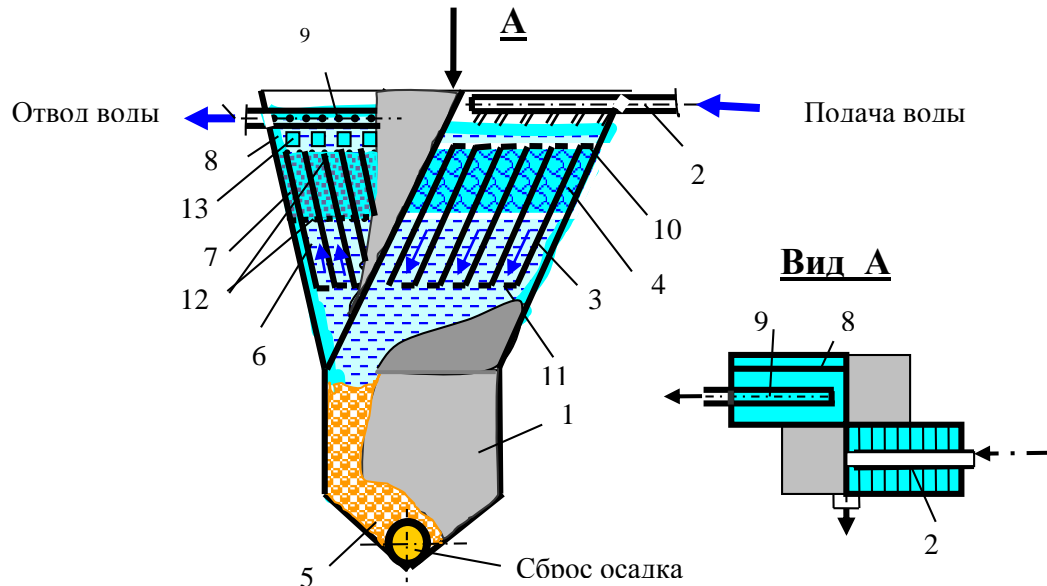
1. Нисходяще-восходящий модуль.
2. Нисходяще-восходящий модуль с ПАА.
3. Нисходяще-восходящий модуль с КЗХО (рис 2).

Первые два режима показали разброс данных по эффекту осветления на 30 %. Третий режим отличался сравнительно небольшим разбросом даже при много большем наборе данных. Опытно-промышленная установка, в состав которой входит описанный выше модуль, эксплуатируется много лет. Средние показатели качества отстоя приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Показатели работы модуля  
**Table 1.** Module performance indicators

Показатели	Взвешенные вещества, мг/л	Железо общее, мг/л	Хром, мг/л	Медь, мг/л	pH
Осреднённое значение на выходе	30,0	1,5	0,1	2,6	9,3

Опытный модуль имел незначительный объём осадкоуплотнителя – 0,5 м<sup>3</sup>. При среднем расходе стоков до 2,5 м<sup>3</sup>/ч и удельном объёме осадка 3 % опорожнение его проводилось через 14-18 ч работы. Средняя влажность осадка – 92 %.



**Рис. 2.** Схема опытного модуля тонкослойного отстойника. (А. С. №1242201 [9])

1 – металлический корпус; 2 – распределительная система для подачи загрязнённой воды; 3 – прямоточный модуль; 4 – крупнозернистая загрузка; 5 – осадкоуплотнитель; 6 – противоточный модуль; 7 – мелкозернистая загрузка; 8 – вертикальная перегородка; 9 – сборная система; 10, 11 – противоположно направленные козырьки на верхних и нижних концах для удержания загрузки; 12 – сетка, ограничивающая сверху и снизу мелкозернистую загрузку; 13 – перепускные окна

**Fig. 2.** Scheme of the pilot module of a thin-layer sump. (Copyright certificate №1242201 [9]):

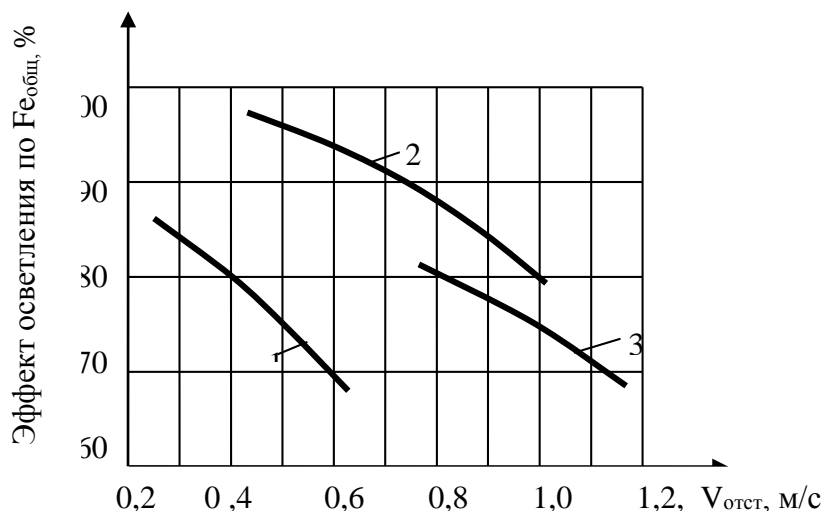
1 – metal housing; 2 – distribution system for the supply of contaminated water; 3 – direct-flow; 5 – sedimentation compactor; 6 – countercurrent module; 7 – fine-grained loading; 8 – vertical partition; 9 – prefabricated system; 10, 11 – oppositely directed visors at the upper and lower ends to hold the loading; 12 – a grid that restricts fine-grained loading from above and below; 13 – bypass windows

Производились параллельные наблюдения за работой модуля и производственного вертикального отстойника, были организованы замеры скорости отстаивания, определялось содержание взвешенных веществ на выходе, содержание железа общего на входе и выходе, подсчитан эффект осветления по железу. Замеры и отбор проводились в дневную и вечернюю смены. Всего проведено 7 циклов наблюдений в разные дни недели месяца. Два цикла совпали с периодом работы вакуум-фильтров, сопровождавшимися выносом взвеси из вертикальных отстойников. Качество отстоя после модуля при этом оставалось в пределах средних значений. В отдельные часы скорость движения воды в вертикальном отстойнике менялась от 0,015 до 0,45 см/с. Скорость в модуле колебалась между 0,06 и 0,09 см/с. На рис. 3. Представлены зависимости влияния скорости отстаивания на эффект осветления для различных режимов работы отстойника.

Качество воды на выходе из отстойника иногда приближалось к качеству отстоя после модуля. Средние результаты 5 циклов приведены в табл. 2.

Анализ данных таблицы 2 свидетельствуют о том, что даже при скорости отстаивания, втрое превышающей скорости в вертикальном отстойнике, эффект осветления полочного отстойника остаётся вдвое выше. Сравнение явно в пользу тонкослойного отстаивания с предварительным контактным хлопьеобразователем.

Таким образом, применение полочных отстойников с нисходяще-восходящим модулем и встречными контактными камерами реакции позволяет резко интенсифицировать процессы осветления и существенно повысит качество очищенной воды. Вместе с тем, эксплуатация их по сложности приближается к обслуживанию механических фильтров, что и следует отмечать в проектах.



**Рис. 3.** Влияние скорости отстаивания на эффект осветления: 1 – полочный отстойник без КЗХО; 2 – полочный отстойник с КЗХО; 3 – полочный отстойник без КЗХО с использованием ПАА  
**Fig. 3.** The effect of settling rate on the clarification effect: 1 – shelf settling tank without CLC; 2 – shelf settling tank with CLC; 3 – shelf settling tank without CLC using PAA

**Таблица 2** Сравнение работы полочного и вертикального отстойников  
**Table 2** Comparison of the work of shelf and vertical settling tanks

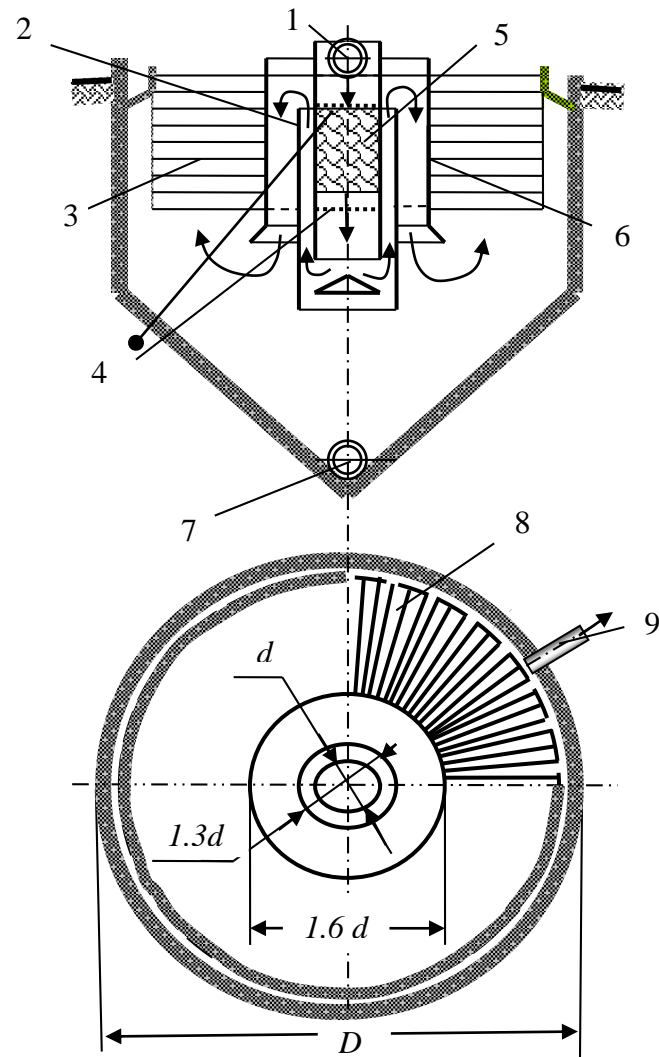
Показатели работы	Скорость потока, см/с	Взвешенные вещества, мг/л	Железо общее, мг/л, эффективность, %
Осреднённое значение полочного/вертик. отстойников	0,08/0,024	32,3/201	1,63/11,5 91/38

### ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

На очистных сооружениях базового предприятия БЭМЗ эксплуатируются два стандартных вертикальных отстойника, объём каждого из них – 295 м<sup>3</sup> (объём цилиндрической части – 203,5 м<sup>3</sup>). Для повышения эффективности отстаивания было предложено в центральной трубе вертикального отстойника разместить крупнозернистую камеру хлопьеобразования (рис. 4). Совместно с лабораторией №36 МГПИ были проведены производственные наблюдения и исследования. Предложено в центральной трубе вертикального отстойника разместить крупнозернистую камеру хлопьеобразования. Загрузка её осуществлена кусками вспененного полистирола крупностью 40...60 мм слоем 700 мм и размещена под металлической решёткой, установленной на глубине 450 мм ниже переливной кромки осветлённой воды. На расстоянии 200 мм под нижней кромкой вспененного полистирола установлена другая решётка, предотвращающая падение загрузки при опорожнении отстойника непосредственно на очистных сооружениях БЭМЗ.

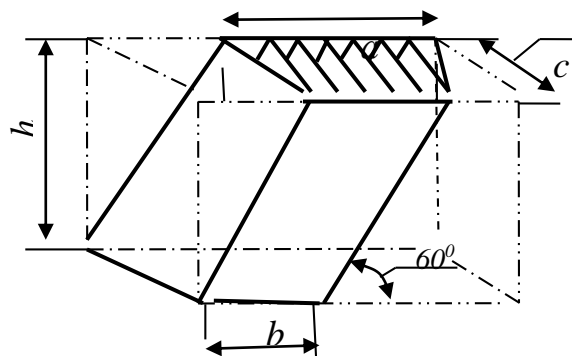
Анализ проведенных наблюдений и результатов исследования показали, что эффективность задержания взвеси после установки крупнозернистой камеры хлопьеобразования достигла 75...80%, против 50...60% без ее использования. Для дальнейшего повышения эффективности работы осветлителей была произведена реконструкция отстойника путём добавления в него сборных полочных модулей, показанных на рисунке 5.

Наблюдения за работой модуля и производственного вертикального отстойника производились параллельно. Измерялись следующие показатели: скорость отстаивания, содержание взвешенных веществ на выходе, содержание железа общего на входе и выходе. По результатам исследований определен эффект осветления по железу. Замеры и отбор проб проводились в дневную и вечернюю смены. Всего проведено 7 циклов наблюдений в разные дни недели месяца. Два цикла совпали с периодом работы вакуум-фильтров, они сопровождалась выносом взвеси из вертикальных отстойников. Качество осадка после модуля при этом оставалось в пределах средних значений. В отдельные часы скорость движения воды в вертикальном отстойнике менялась от 0,015 до 0,45 см/с. Скорость в модуле колебалась между 0,06 и 0,09 см/с.



**Рис. 4.** Схема переоборудования вертикального отстойника с нисходящим и восходящим движением воды полочным восходящим модулем и зернистым хлопьеобразователем [15]: 1 – трубопровод подачи воды; 2 – кольцевая перегородка с распределителем потока; 3 – тонкослойный модуль; 4 – ограничивающая и поддерживающая сетки; 5 – зернистый хлопьеобразователь; 6 – большая кольцевая перегородка; 7 – трубопровод отвода осадка; 8 – тонкослойный модуль; 9 – труба для отвода осветлённой воды

**Fig. 4.** Diagram of the conversion of a vertical settling tank with descending and ascending movement of water by a shelf ascending module and a granular flocculator [15]: 1 – water supply pipeline; 2 – annular partition with a flow distributor; 3 – thin-layer module; 4 – limiting and supporting grids; 5 – granular flocculant; 6 – large annular partition; 7 – sediment drainage pipeline; 8 – thin-layer module; 9 – pipe for the discharge of clarified water



**Рис. 5.** Элемент полочного модуля

**Fig. 5.** Shelf module element

Диапазон скорости зависит от суточного притока сточных вод. В ночные часы и в перерывах в работе она была очень мала, а при пиковой нагрузке, в особенности в конце месяца, увеличивалась многократно. Средние результаты 5-ти циклов приведены в таблице 3.

Анализ данных таблицы 3 свидетельствуют о том, что даже при скорости отстаивания втрое пре-

вышающей скорость в вертикальном отстойнике эффект осветления полочного отстойника остаётся вдвое выше. Реконструкция существующих на ОАО «БЭМЗ» вертикальных отстойников выполнена в соответствии с патентом [15]. Предложенная реконструкция существующего вертикального отстойника позволила повысить эффект осветления с 60...70% до 93% и существенно снизить вероятность выноса осадка.

**Таблица 3.** Сравнение эффективности работы полочного и вертикального отстойников  
**Table 3.** Comparison of the efficiency of shelf and vertical settling tanks

Показатели работы	Скорость потока, см/с	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность, %
Полочный отстойник	0,08	32,3	1,63	93
Вертикальный отстойник	0,024	201	11,5	38

Методика и расчёты по оборудованию вертикального отстойника  $D = 9$  м полочными пакетами приведены в диссертационной работе [16].

Таким образом, в статье рассмотрена актуальная проблема по совершенствованию оборотных циклов промышленного водоснабжения за счет модернизации процесса осветления сточной воды на предприятиях по производству радиоэлектроник компьютерной и телекоммуникационной техники. Повышение эффекта осветления обеспечено за счет модернизации полочных отстойников для возможности их применения в осветлителях сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат, на основании выполненного обоснования принципиальной возможности избирательного хлопьеобразования и накопления осадка с преобладающим содержанием металлов.

## ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования процесса контактного хлопьеобразования на реальных сточных водах и по результатам этих исследований сформулированы основные принципы подхода к конструированию модулей для сточных вод с преобладающим содержанием гидроокисной взвеси с низкой плотностью, переменной концентрацией и свойствам, а именно:

- укрупнение и стабилизация величины частиц взвеси в фильтровальной загрузке на входе в полочный модуль должна достигаться за счёт принудительного хлопьеобразования. При необходимости, дополнительная фильтровальная загрузка может быть установлена над восходящим модулем. Он является дополнительным хлопьеобразователем перед сооружениями второй ступени осветления;

- для сокращения общей высоты отстойника целесообразно принимать нисходяще-восходящие модули. При этом площадь сечения нисходящего модуля может быть вдвое меньше расчетной

площади восходящего модуля. Таким образом, значительная часть осадка из нисходящего модуля будет вымываться попутным потоком жидкости. Снижение концентрации взвеси и скорости движения в восходящем модуле способствует более глубокому осветлению воды. Таким образом, упрощаются системы подвода-отвода и распределения воды по сечению модуля;

- для удобства организации периодической продувки отстойников, предупреждающей зависание осадка в межполочном пространстве и переполнение отстойной части, отстойники должны выполняться многосекционными при обязательном наличии отдельного осадкоуплотнителя на группу секций. Соотношение отстойной и осадочной части от 1 : 6 до 1 : 10.

2. Установлено и на практике подтверждено, что за счёт размещения простейшего технического решения крупнозернистой камеры хлопьеобразования в центральной трубе вертикального отстойника можно добиться эффективности задержания взвеси 75...80 %, против 50...60% без ее использования.

3. Эффективности работы осветлителей после дальнейшего добавления в него сборных полочных модулей достигет до 93 %, что многократно увеличивает межрегенерационный период загрузки механических фильтров

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Данилов-Данильян, И.Е. Рейф. Биосфера и цивилизация. М.: Энциклопедия, 2016 – 432 с.
2. В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев, И.Е. Рейф. Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России. М.: ИНФРА-М, 2005. – 224 с.
3. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.

4. Копылов А.С. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программированные расчеты/ А.С. Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 222 с.
5. Ризо Е.Г. Особенности решения проблемы жидких отходов на гальваноочистных комплексах// Вода и экология. Проблемы и решения. – 2003. – №4. – С.33-36.
6. Дегремон. Технический справочник по обработке воды: в 2 т: пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007.
7. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем. – СПб: Новый журнал, 2012. – 384 с.
8. Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / ДАНСЕЕ, отдел по Восточной Европе. – Копенгаген, 2001. – 253 с.
9. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. – Брест: изд-во БГТУ, 2007. – 396 с.
10. Гогина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и вол отведения: Справочное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов РФ, 2012. – 312 с.
11. Урецкий Е. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. – Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 – 360 с.
12. Совершенствование схем действующих очистных сооружений на предприятиях отрасли и повышение уровня их эксплуатации. Технический. Руководитель темы Урецкий Е.А. Технический отчет по НИР 01 -36-51-02 Шифр “ Внедрение-89”, Москва, Брест. 1990.
13. Урецкий Е.А. и др. Устройство для осветления жидкости, содержащей взвешенные и всплывающие вещества: а.с. 1212478 СССР, 1984.
14. Урецкий Е.А. и др. Устройство для осветления жидкости: а.с. 1242201 СССР, 1985.
15. Е. А. Урецкий Е.А., Мороз В.В. Вертикальный отстойник: пат. 10935 Республика Беларусь, 2015.
16. Мороз В. В. Ресурсосберегающая реагентная технология совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения: дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2018. 176 с.
2. V.I. Danilov-Danilyan, K.S. Losev, I.E.Reif. Before the main challenge of civilization. View from Russia. Moscow: INFRA-M, 2005. – 224 p.
3. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
4. Kopylov A.S. Processes and apparatuses of advanced water treatment technologies and their programmed calculations/ A.S. Kopylov, V.F. Points, Yu.V. Chudova. – М.: Publishing House of MEI, 2009. – 222 p.
5. Rizo E.G. Features of solving the problem of liquid waste at electroplating complexes// Water and ecology. Problems and solutions. – 2003. – № 4. – Pp.33-36.
6. Degremon. Technical reference book on water treatment: in 2 t: trans. from fr. – SPb.: Novy zhurnal, 2007.
7. Industrial wastewater treatment: trans. from German. – SPb: Novy zhurnal, 2012. – 384 p.
8. Handbook on modern methods and technologies of natural and wastewater treatment and equipment / DANSEE, Department for Eastern Europe. – Copenhagen, 2001. – 253 p.
9. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in water management of industrial enterprises. Monograph. – Brest, publishing house of BSTU, 2007. – 396 p.
10. Gogina E.S., Gurinovich A.D., Uretsky E.A. Resource-saving technologies of industrial water supply and drainage: A reference manual. – М.: Publishing House of the Association of Construction Universities of the Russian Federation, 2012. – 312 p.
11. E. Uretsky. Resource-saving technologies in the water sector of industrial enterprises. Monograph - publishing house of LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 -360 p.
12. Improving the schemes of existing treatment facilities at the enterprises of the industry and increasing the level of their operation. Technical. Topic Supervisor Uretsky E.A. Technical report on research and development 01 -36-51-02 Cipher “ Introduction-89”, Moscow, Brest. 1990.
13. Uretsky E.A. et al. Device for clarification of liquid containing suspended and floating substances: A.S. 1212478 USSR, 1984.
14. Uretsky E.A. and others Device for clarification of liquid: A.S. 1242201 USSR, 1985.
15. E. A. Uretsky E.A., Moroz V.V. Vertical sump: pat. 10935 Republic of Belarus, 2015.
16. Moroz V. V. Resource-saving reagent technology of joint wastewater treatment of paint and varnish and galvanic industries of instrument and mechanical engineering: dis. ... candidate of Technical Sciences. Minsk, 2018. 176 p.

## REFERENCES

1. V.I. Danilov-Danilyan, I.E. Reif. Biosphere and civilization. Moscow: Encyclopedia, 2016 – 432 p.

## RESEARCH AND IMPROVEMENT OF CLARIFIERS FOR WASTEWATER PRODUCTION OF PROTECTIVE COATINGS AND PRINTED CIRCUIT CARDS

Uretskiy<sup>1</sup> E.A., Nikolenko<sup>2</sup> I.V., Moroz<sup>3</sup> V.V.

<sup>1</sup> Republican unitary enterprise Belarusian state design institute "Belgpi" vitebsk, pushkin, 6, Republic of Belarus. 210602

E-mail: euretsky@yandex.by

<sup>2</sup> V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,

181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation

E-mail: nikoshi@mail.ru

<sup>3</sup> Educational institution "brest state technical university" 224017 Republic of

Belarus, Brest, moskovskaya str., 267

E-mail: vovavall@mail.ru

**Abstract.** The process of contact flocculation has been studied and highly efficient clarification plants equipped with shelf modules and contact flocculators before and at the outlet of wastewater have been developed on its basis. The efficiency of clarification of a thin-layer module with a descending-ascending water flow and built-in flocculation chambers reaches a suspension retention of up to 95% or more. Reconstruction of vertical settling tanks with a capacity of 200 m<sup>3</sup> of treatment facilities of the base enterprise OJSC "Brest Electromechanical Plant" was carried out by adding a flocculation chamber and shelf inserts to them. The proposed reconstruction of the existing vertical settling tanks made it possible to increase the clarification effect from 50÷60% to 93%, increase the inter-flushing period of mechanical filters many times over, and significantly reduce the likelihood of sediment carryover.

**The subject of the study.** The process of contact flocculation on real wastewater to improve the efficiency of clarification of industrial wastewater of protective coatings and printed circuit boards with the use of shelf settling tanks.

**Materials and methods of research:** Theoretical and experimental studies have been carried out to substantiate the fundamental possibility of selective flocculation and accumulation of sediment with a predominant metal content in modernized shelf settling tanks. Experimental studies have shown a significant increase in the lightening effect due to the installation of a thin-layer module with built-in flocculation chambers in shelf clarifiers.

**Results.** For wastewater with a predominant content of hydroxide suspension with low density, variable concentration and properties, the necessity of installing a coarse-grained flocculation chamber in the central pipe of a vertical sump is justified in order to achieve the suspension retention efficiency of 75...80%, versus 50...60% without its use. The efficiency of the clarifiers has been achieved up to 93% due to the addition of prefabricated shelf modules to it, which greatly increases the inter-regeneration loading period of mechanical filters.

**Conclusions.** Based on the results of the theoretical and experimental studies carried out, the basic principles of the approach to the design of thin-layer modules providing an increase in the efficiency of clarifiers for wastewater production of protective coatings and printed circuit boards are formulated. It is shown that the improvement of shelf settling tanks ensures their effective use in wastewater clarifiers for protective coatings and printed circuit boards, both in general and by adding contact flocculation to their design.

**Key words:** waste water, clarification, thin-layer sump, shelf inserts, contact flocculants, filter loading, pH, clarification efficiency.



УДК 911.52 (477.75)

ГУСТОТА РАСЧЛЕНЕНИЯ РЕЛЬЕФА В ПРЕДЕЛАХ ЛАНДШАФТОВ  
КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Табунщик В.А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,  
299011, проспект Нахимова 2, Севастополь, Российская Федерация,  
e-mail: tabunshchik@ya.ru

**Аннотация.** В статье приведен анализ пространственной изменчивости фактора внешней среды – «Густота расчленения рельефа, м/кв. км» в пределах ландшафтов Крымского полуострова, полученный в результате обработки данных геoinформационного моделирования. На основе построенной модели густоты расчленения рельефа для территории Крымского полуострова для каждой таксономической единицы – ландшафтного уровня, ландшафтной зоны, ландшафтного пояса и ландшафтного яруса, а также для группы местностей (окоемов) получены значения элементов описательной статистики характеризующие минимальное, максимальное, среднее значение фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» в пределах каждой таксономической единицы, а также медиана значений и значение факторной амплитуды. Выявлено, что по фактору «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» ландшафты Крымского полуострова крайне слабо дифференцируются. Создана база данных со значениями показателя «Густота расчленения рельефа, м/кв. км» в пределах ландшафтов Крымского полуострова.

**Предмет исследования:** количественная оценка показателя густоты расчленения рельефа в пределах таксономических единиц ландшафтной сферы в пределах Крымского полуострова. Исследование представляет собой способ решения проблемы нехватки геоморфологических данных о густоте расчленения рельефа для отдельных регионов Крымского полуострова. В разрезе ландшафтов Крымского полуострова подобное исследование проводится впервые.

**Материалы и методы.** Построение картографических моделей выполнено в программном комплексе ArcGIS 10. Геоинформационные методы исследования использованы для ввода исходных данных, их обработки и вывода статистической информации. Для обработки данных также использовались статистические программы Statistica 10 и R Studio. Помимо этого, также использованы литературно-аналитический, сравнительно-географический, сравнительно-исторический и ряд других методов исследования.

**Результаты:** получены первичные статистические данные и создана база данных со значениями показателя «Густота расчленения рельефа, м/кв. км» в пределах ландшафтов Крымского полуострова.

**Выводы:** для Крымского полуострова расчет значений густоты расчленения рельефа в разрезе таксономических единиц ландшафтной сферы проведен впервые. Полученные данные актуальны при проведении работ по территориальному и ландшафтному планированию, в рамках проведения геологических и гидрологических изысканий, для принятия управленческих решений.

**Ключевые слова:** ландшафт, Крым, Крымский полуостров, рельеф, расчленение рельефа, густота расчленения рельефа.

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение морфометрических показателей рельефа самих по себе и в разрезе их пространственного распределения в пределах различных операционно-территориальных единиц представляет важную как теоретическую, так и практическую задачу. Густота, или интенсивность горизонтального расчленения рельефа определяется степенью развития эрозионной сети и плотностью размещения отдельных положительных и отрицательных форм (западин, котловин, бугров, холмов, сопок, оврагов и др.) [1]. А.И. Спиридонов [2, с. 68] отмечает, что потребность в морфометрических показателях ощущают не только геоморфологи, но также специалисты в области смежных научных и прикладных дисциплин: картографы, гидрологи, инженеры и др.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Использование географических информационных систем (ГИС) в начале XXI века приобрело глобальный характер и осуществляется исследователями из различных областей науки. Для изучения рельефа ГИС стали активно применяться с конца 90-х годов XX века. Существенный вклад в изучение рельефа с использованием ГИС внесли работы отечественных и зарубежных исследователей. Среди зарубежных исследователей можно отметить работы [3, 4, 5 и др.]. Отечественные работы по изучению рельефа с использованием ГИС связаны с работами Д. М. Курловича [6], В.А. Михайлова [7], А.В. Погорелова и Ж.А. Думит [8] и рядом других работ [9, 10].

В тоже время Крымский полуостров, как показано в ряде работ [11-19], имеет сложный пространственный рисунок рельефа, что сказывается на развитии многих процессов, происходящих в пределах ландшафтной сферы.

Крымский полуостров – расположен в Восточной Европе и имеет площадь

приблизительно в 26 тысяч кв. км. В северной и центральной частях рельеф Крымского полуострова равнинный, на территории Керченского полуострова – холмисто-равнинный, в южной части – горный представленный Крымскими горами [20, 21, 22]. Подробные описания абсолютных высот Крымского полуострова представлены в наших работах [15], глубины расчленения рельефа Крымского полуострова – в [13], глубины расчленения рельефа Крымского полуострова – в [14].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные о ландшафтной структуре Крымского полуострова взяты из ландшафтно-типологической карты Крымского полуострова, составленной Г.Е. Гришанковым, и опубликованной в [21]. Для удобства работы она была оцифрована и переведена в векторный shp-формат в программном комплексе ArcGIS. Для получения информации о статистике для каждой из выбранных таксономических ландшафтных единиц, были использованы встроенные инструменты анализа зональной статистики и пространственного положения в программных комплексах ArcGIS и QGIS. Построение модели густоты расчленения рельефа

для территории Крымского полуострова выполнено по методике [13] с использованием открытых геоданных Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

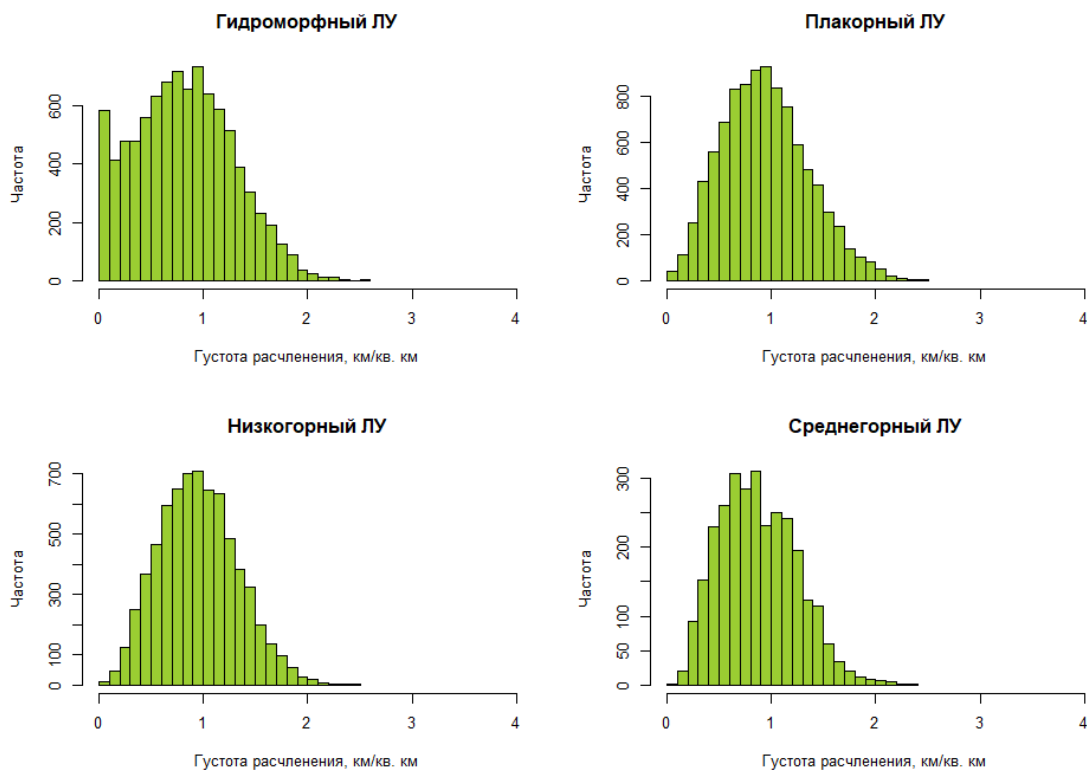
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате анализа были получены данные о густоте расчленения рельефа в пределах таксономических единиц ландшафтов Крымского полуострова. В таблице 1 и на рисунке 1 представлены значения густоты расчленения рельефа в пределах ландшафтных уровней Крымского полуострова, визуальный анализ которых показывает, что данный фактор практически не оказывает влияние на дифференциацию ландшафтных уровней. Это проявляется в том, что ширина и количественные значения максимума-минимума факторных амплитуд для каждого ландшафтного уровня практически идентичны. Рисунки 1 и 2 демонстрируют это еще более наглядно, так как среди представленных на нем гистограмм распределения значений фактора, гистограммы плакорного и низкогогорного ландшафтных уровней практически идентичны, среднегорного – немного отличается, а гистограмма для гидроморфного ландшафтного уровня – обособливается более выражено.

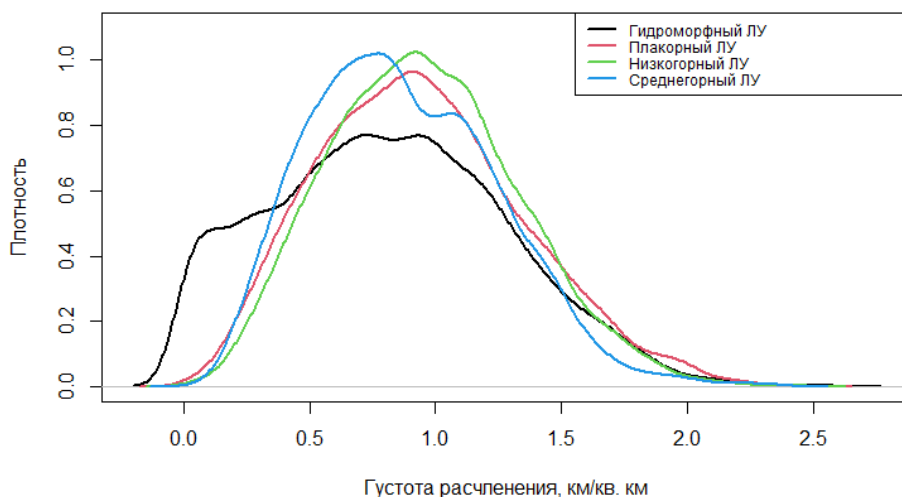
**Таблица 1.** Положение ландшафтных уровней Крымского полуострова в пространстве фактора  
«Густота расчленения рельефа, км/кв. км»

**Table 1.** The position of the landscape levels of the Crimean Peninsula in the space of the factor  
«Density of relief dissection, km/sq. km»

Фактор	Ландшафтный уровень	Значение фактора					Относительная ширина амплитуды
		Минимум	Максимум	Амплитуда	Среднее значение	Медиана	
Густота расчленения рельефа, км/кв. км	Гидроморфный	0,0	3,6	3,6	0,8	0,8	0,83
	Плакорный	0,0	4,4	4,4	0,9	0,9	1,00
	Низкогогорный	0,0	3,3	3,3	1,0	0,9	0,76
	Среднегорный	0,0	3,8	3,8	0,9	0,8	0,88



**Рис.1.** Гистограммы распределения фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» для ландшафтных уровней Крымского полуострова  
**Fig.1.** Distribution histograms of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km» for the landscape levels of the Crimean Peninsula



**Рис. 2.** Плотность распределения фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» для ландшафтных уровней Крымского полуострова  
**Fig. 2.** Distribution density of the factor “Density of relief dissection, km/sq. km” for the landscape levels of the Crimean Peninsula

Примерно такая же ситуация наблюдается и на более низком таксономическом уровне. По фактору «Густота расчленения рельефа, км/кв. км м» ландшафтные зоны практически не отличаются гистограммами распределения и статистическими значениями (таблица 2, рисунок 3). Незначительно

обособливаются зона южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов, а так же зона низменных недrenированных и слабодrenированных аккумулятивных и денудационных равнин с типчаково-ковыльковыми, полынно-типчаковыми,

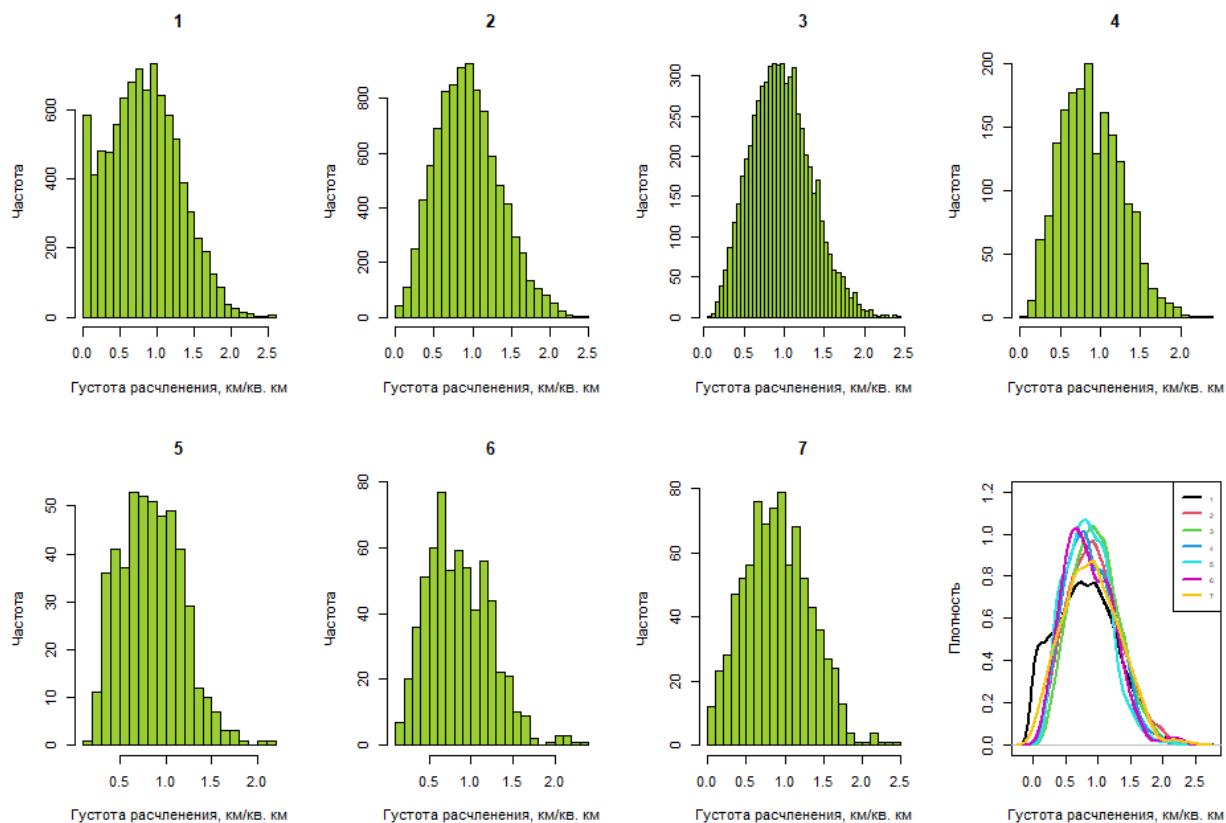
попынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными лугами и степями, хотя в целом факторные амплитуды существования

ландшафтные зоны пересекают друг друга и в значительной степени включены друг в друга.

**Таблица 2.** Положение ландшафтных зон Крымского полуострова в пространстве фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км м»

**Table 2.** The position of the landscape zones of the Crimean Peninsula in the space of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km m»

Фактор	Ландшафтная зона	Значение фактора					Относительная ширина амплитуды
		Минимум	Максимум	Амплитуда	Среднее значение	Медиана	
Густота расчленения рельефа, км/кв. км	Гидроморфный ландшафтный уровень						
	Зона низменных недренированных и слабодренированных аккумулятивных и денудационных равнин с типчаково-ковыльковыми, опынно-типчаковыми, опынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными лугами и степями	0	3,6	3,6	0,8	0,8	0,83
	Плакорный ландшафтный уровень						
	Зона типичных ковыльно-типчаковых и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковых степей в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями	0	4,4	4,4	0,9	0,9	1,00
	Низкогорный ландшафтный уровень						
	Зона предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами	0	3,3	3,3	1,0	0,9	0,76
	Зона южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельно-сосновых лесов и шибляковых зарослей	0	2,7	2,7	0,9	0,8	0,62
	Среднегорный ландшафтный уровень						
	Зона северного макросклона гор, буковых, дубовых и смешанных широколиственных лесов	0	3,8	3,8	0,9	0,9	0,88
	Зона яйлинских плато, горных лугов и горной лесостепи	0	2,5	2,5	0,8	0,8	0,58
Зона южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов	0	2,9	2,9	0,8	0,8	0,67	



**Рис. 3.** Гистограммы распределения фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» для ландшафтных зон Крымского полуострова (цифрами обозначены ландшафтные зоны. Гидроморфный ландшафтный уровень: 1 – Зона низменных недренированных и слабодренированных аккумулятивных и денудационных равнин с типчаково-ковыльковыми, полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными лугами и степями; плакорный ландшафтный уровень: 2 – Зона типичных ковыльно-типчаковых и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковых степей в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями; низкогорный ландшафтный уровень: 3 – Зона предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами; 4 – Зона северного макросклона гор, буковых, дубовых и смешанных широколиственных лесов; 5 – Зона яйлинских плато, горных лугов и горной лесостепи; 6 – Зона южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов; 7 – Зона южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей; среднегорный ландшафтный уровень

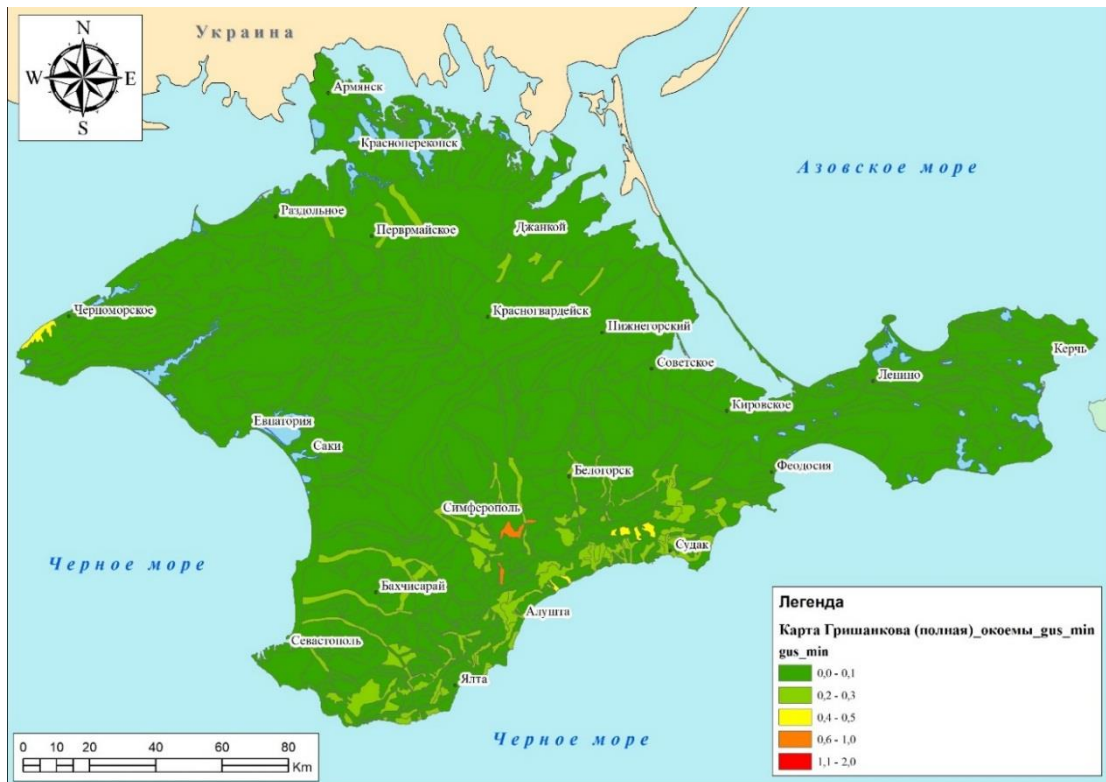
**Fig. 3.** Distribution histograms of the factor “Density of relief dissection, km/sq. km” for landscape zones of the Crimean Peninsula (numbers indicate landscape zones. Hydromorphic landscape level: 1 – Zone of low non-drained and poorly drained accumulative and denudation plains with fescue-feather grass, sagebrush-fescue, sagebrush-wheat grass steppes in combination with halophytic meadows and steppes ; upland landscape level: 2 – Zone of typical feather-grass-fescue and poor-forb-feather-grass-fescue steppes in combination with petrophytic and shrub steppes; low-mountain landscape level: 3 – Zone of foothill accumulative, remnant-denudation and structural denudation plains and cuesta uplands with forb steppes, shrub thickets, forest-steppe and low-growing oak forests; 4 – Zone of the northern macroslope of mountains , beech, oak and mixed broadleaf forests; 5 – Zone of the Yaylin plateaus, mountain meadows and mountain forest-steppe; 6 – Zone of the southern macroslope of mountains, oak, pine and mixed broad-leaved forests; 7 – Zone of the southern macroslope of mountains, semi-subtropical oak, pistachio-oak, juniper-pine forests and shibleak thickets; mid-mountain landscape level

В таблице 3 и на рисунках 4-8 представлены значения описательной статистики для ландшафтных поясов/ярусов и групп местностей в пределах Крымского полуострова. Анализ таблицы 3 и рисунков 4-8 показывает, что и на низших таксономических единицах ландшафтной структуры фактор «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» проявляется слабо при дифференциации

ландшафтной сферы. Незначительно обособливаются отдельные ландшафтные пояса в пределах каждой ландшафтной зоны и ландшафтного уровня, а также ландшафтные пояса гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней от ландшафтных поясов низкогорного и среднегорного ландшафтных уровней.

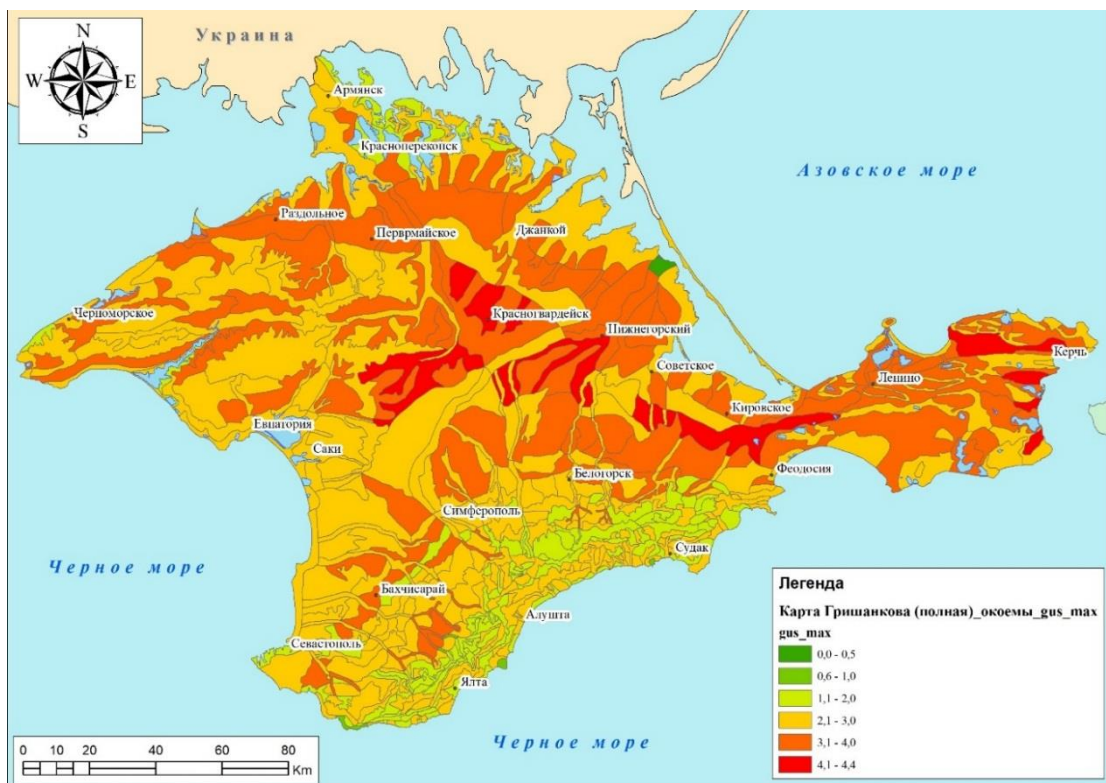
**Таблица 3.** Положение ландшафтных поясов и ландшафтных ярусов Крымского полуострова в пространстве фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км»  
**Table 3.** The position of the landscape belts and landscape tiers of the Crimean Peninsula in the space of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km»

Фактор	Ландшафтный пояс / ярус	Значение фактора					Относительная ширина амплитуды
		Минимум	Максимум	Амплитуда	Среднее значение	Медиана	
Густота расчленения рельефа, км/кв. км	<b>Гидроморфный ландшафтный уровень</b>						
	Зона низменных недреннированных и слабодреннированных аккумулятивных и денудационных равнин с типчаково-ковыльковыми, полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми степями в комплексе с галофитными лугами и степями						
	Пояс прибрежных недреннированных низменностей, пляжей и кос с галофитными лугами, солончаками и сообществами псаммофитов	0	3,5	3,5	0,6	0,4	0,81
	Пояс аккумулятивных и денудационных недреннированных и слабодреннированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями	0	3,6	3,6	0,8	0,7	0,83
	Пояс аккумулятивных и денудационных слабодреннированных равнин с ковыльно-типчаковыми и полынно-типчаковыми степями	0	3,4	3,4	1,0	1,0	0,77
	Пояс аккумулятивных дренированных и слабодреннированных низменностей с ковыльно-типчаковыми степями в комплексе с ковыльно-разнотравными степями	0	3,3	3,3	1,1	1,0	0,75
	<b>Плакорный ландшафтный уровень</b>						
	Зона типичных ковыльно-типчаковых и бедно-разнотравно-ковыльно-типчаковых степей в комплексе с петрофитными и кустарниковыми степями						
	Верхний денудационный ярус ковыльно-типчаковых, петрофитных и кустарниковых степей	0	3,1	3,1	0,8	0,8	0,71
	Нижний денудационно-аккумулятивный ярус с ковыльно-типчаковыми, кустарниково-разнотравными и петрофитными степями	0	4,4	4,4	1,0	1,0	1,00
	<b>Низкогорный ландшафтный уровень</b>						
	Зона предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами						
	Пояс бороздчато-разнотравных и асфоделиново-разнотравных степей на аккумулятивных и денудационных равнинах	0	3,3	3,3	1,0	1,0	0,75
	Пояс лесостепи на останцово-денудационных, структурных денудационных и аккумулятивных равнинах, куэстовых возвышенностях	0	3,3	3,3	0,9	0,9	0,76
	Пояс дубовых лесов и кустарниковых зарослей на останцово-денудационных и наклонных структурных денудационных равнинах и куэстовых возвышенностях	0	2,4	2,4	0,8	0,7	0,55
	<b>Среднегорный ландшафтный уровень</b>						
	Зона северного макросклона гор, буковых, дубовых и смешанных широколиственных лесов						
	Пояс котловин и эрозионного низкогорья, дубовых, смешанных широколиственных и сосновых лесов	0	3,8	3,8	0,9	0,9	0,88
	Пояс среднегорно-склоновый, дубовых, можжевельно-дубовых и смешанных широколиственных лесов	0	2,7	2,7	0,9	0,9	0,62
	Пояс среднегорно-склоновый, буковых, буково-грабовых, смешанных широколиственных лесов	0	2,2	2,2	0,8	0,7	0,51
	Зона яйлинских плато, горных лугов и горной лесостепи						
	Пояс лесных и лугово-лесостепных плато	0	2,4	2,4	0,9	0,9	0,55
	Пояс луговых и лугово-лесных плато	0	2,5	2,5	0,6	0,5	0,58
	Зона южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов						
	Пояс низкогорно-склоновый дубовых и смешанных широколиственных лесов	0	2,9	2,9	0,9	0,8	0,66
	Пояс среднегорно-склоновый, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов	0	2,9	2,9	0,9	0,8	0,67
	Среднегорный пояс буковых и смешанных широколиственных лесов	0	2,2	2,2	0,7	0,6	0,51
	<b>Низкогорный ландшафтный уровень</b>						
	Зона южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельно-сосновых лесов и шибляковых зарослей						
	Низкогорный пояс дубово-фисташковых, можжевельно-сосновых лесов и шибляковых зарослей	0	2,4	2,4	0,8	0,7	0,55
Низкогорный пояс сосновых, дубовых и смешанных широколиственных лесов и шибляковых зарослей	0	2,7	2,7	1,0	1,0	0,62	



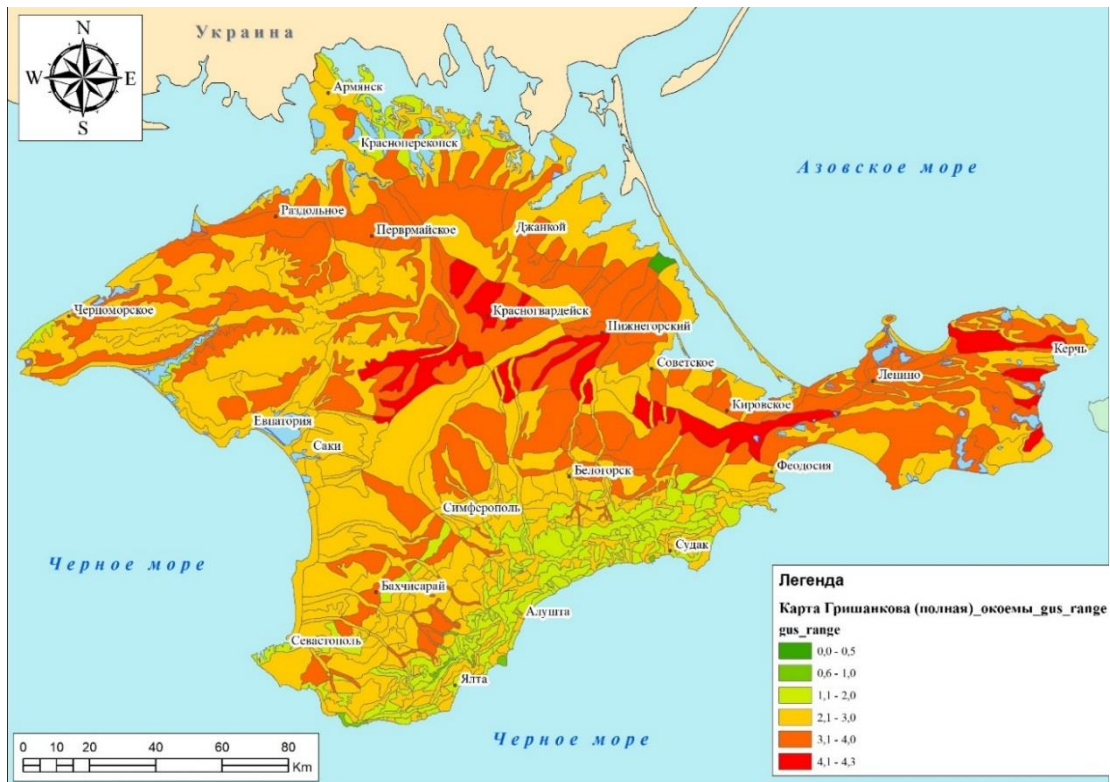
**Рис. 4.** Положение групп местностей в пространстве фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км». Минимальное значение фактора (составлено автором)

**Fig. 4.** The position of groups of localities in the space of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km». The minimum value of the factor (compiled by the author)

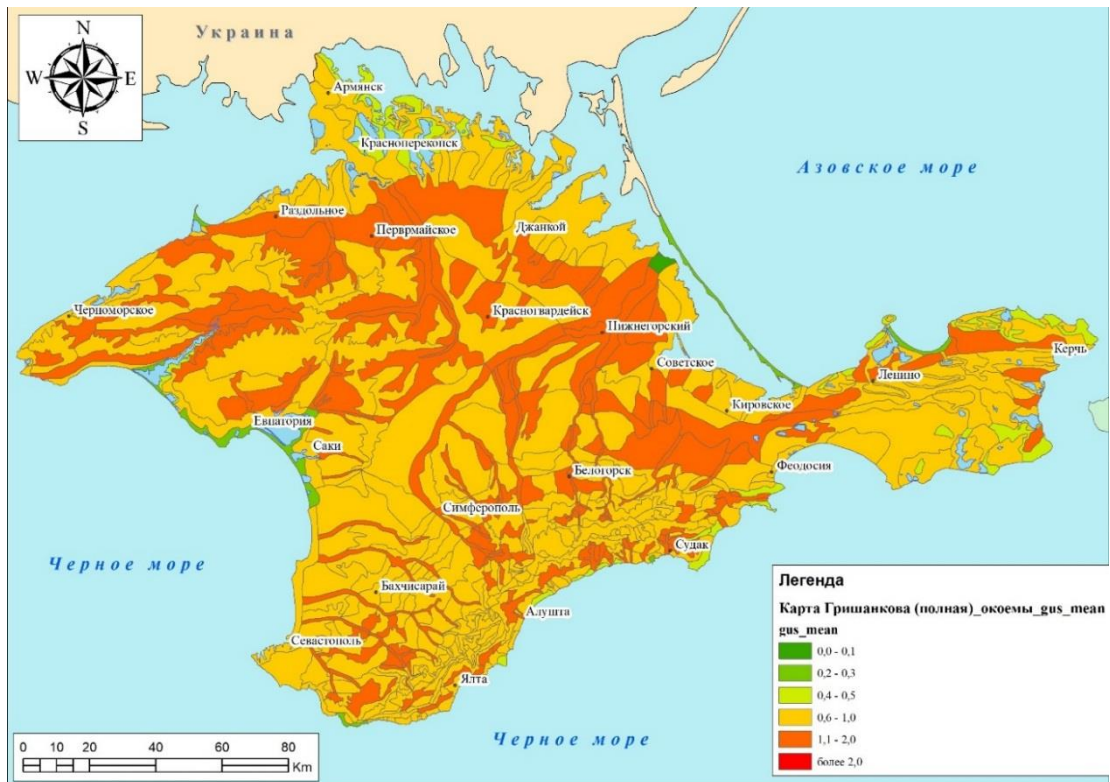


**Рис. 5.** Положение групп местностей в пространстве фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км». Максимальное значение фактора (составлено автором)

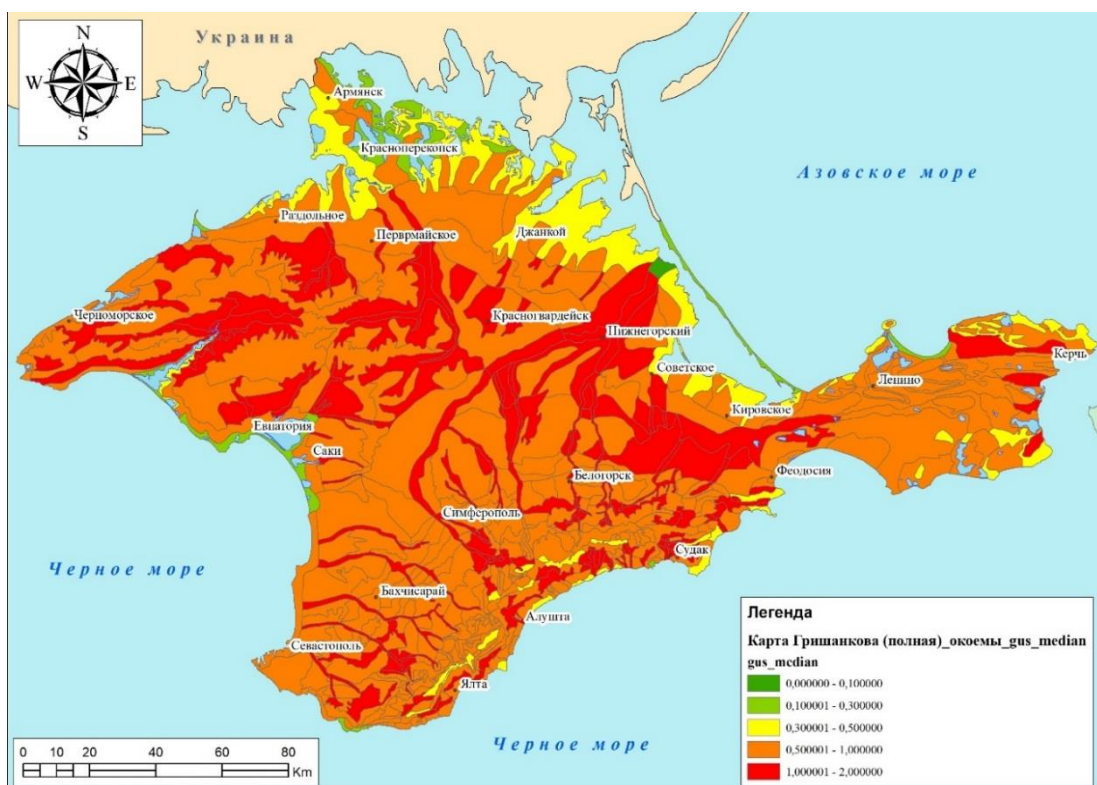
**Fig. 5.** The position of groups of localities in the space of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km». The maximum value of the factor (compiled by the author)



**Рис. 6.** Положение групп местностей в пространстве фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км». Амплитуда значений фактора (составлено автором)  
**Fig. 6.** The position of groups of localities in the space of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km». Amplitude of factor values (compiled by the author)



**Рис. 7.** Положение групп местностей в пространстве фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км». Среднее значение фактора (составлено автором)  
**Fig. 7.** The position of locality groups in the space of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km». Average value of the factor (compiled by the author)



**Рис. 8.** Положение групп местностей в пространстве фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км». Медиана значений фактора (составлено автором)

**Fig. 8.** The position of locality groups in the space of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km». Median factor values (compiled by the author)

При анализе влияния фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» на развитие групп местностей Крымского полуострова отчетливо заметно что максимальные значения и амплитуда значений расчленения рельефа в пределах групп местностей гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней в целом больше, чем в пределах групп местностей среднегорного и низкогорного ландшафтных уровней. Однако в целом пространственное влияние фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» на ГМ выглядит довольно фрагментировано, хотя прослеживается тенденция на преобладание максимальных средних значений в пределах групп местностей пространственно расположенных в долинах балок и рек равнинной части Крымского полуострова (Салгир, Чатарлык, балки впадающие в оз. Донузлав и Сасык-Сиваш), а также частично долин рек в пределах южного берега Крыма.

Полученные данные являются новыми в исследовании природы Крымского полуострова. В большинстве работ ранних лет приводятся только описательные характеристики густоты расчленения рельефа, которые ограничиваются в большинстве случаев лишь констатацией факта о том, что в равнинных районах Крымского полуострова густота расчленения меньше, чем в предгорных и горных. Количественные значения показателя густоты расчленения рельефа единичны и чрезвычайно разрознены.

В работе [23, С. 206] указывается, что в Горном Крыму густота расчленения составляет от 0,5 до 1,5 км на кв. км, однако авторы не приводят ни методики, по которой могли бы быть получены эти значения, ни ссылок на источники.

В работе [18] И. В. Калинин и Е.А. Позаченюк произвели расчеты средних значений горизонтального расчленения рельефа (густота расчленения) в пределах ландшафтных выделов Раздольненского района Республики Крым. Интересно сравнить полученные данные с материалами о густоте расчленения рельефа (горизонтальном расчленении рельефа) для отдельных групп местностей Раздольненского района Республики Крым представленными в работе [18]. Сравнительный анализ показывает, что для большинства групп местностей значения густоты расчленения рельефа различаются в пределах до 20-25%. Например, по расчетным данным группы местностей № 15 – долинно-лощинно-балочная, лугов и луговых степей – среднее значение густоты расчленения рельефа составляет 0,91 км/ кв. км, а по [18] – 0,94 км/кв. км; группы местностей № 30 – структурные пологонаклонные лощинно-балочные равнины с ковыльно-типчачковыми и разнотравно-ковыльно-типчачковыми степями – среднее значение густоты расчленения рельефа составляет 0,90 км/ кв. км, а по [18] – 0,84 км/кв. км. Однако стоит отметить, что в пределах некоторых местностей различие между средними значениями может достигать и более 70%

(для группы местностей № 6 – пересыпи и косы с галофитными лугами в комплексе с сообществами псаммофитов – среднее значение густоты расчленения рельефа составляет 0,54 км/кв. км, а по [18] – 0,91 км/кв. км; для группы местностей № 23 – пересыпи и косы с галофитными лугами в комплексе с сообществами псаммофитов – среднее значение густоты расчленения рельефа составляет 0,79 км/кв. км, а по [18] – 1,05 км/кв. км). Очевидно, что такие различия могут быть связаны с исходными данными SRTM используемыми в работе [18] и их пред процессной обработкой, так как и в данной работе и в работе [13] была использована одна и та же методика построения карты густоты расчленения рельефа [6].

Частично сравнение полученных нами данных о характеристике густоты расчленения рельефа возможно с материалами работы [24], где приводятся количественные значения для западной части Крымского полуострова. В [24] приводится, что на территории Тарханкутского физико-географического района густота расчленения достигает 3,1 км/кв. км [24, С. 550], в пределах Донузлав-Сасыкского физико-географического района густота эрозионного расчленения достигает 2,6 км/кв. км, а Самарчик-Чатарлыкского – 1,9 км/кв. км [24, С. 555]. По нашим расчетам для групп местностей, занимающих ту же территорию, этот показатель изменяется в пределах 0,6-2,0 км/кв. км, причем максимальные значения характерны для бассейнов Самарчика и Чатарлыка, а минимальные – южнее окрестностей озера Сасык-Сиваш. Сравнить полученные значения для остальной части Крымского полуострова не представляется возможным так как в работе [24] данные приводятся либо качественные, либо не приводятся вообще. В [22, С. 153] приводятся такие же общие цифры и указывается, что «на примерно 75% площади края [Тарханкута] интенсивность общего эрозионного расчленения составляет от 1,0 до 3,1 км/кв. км».

В работе [25, С. 39-40] Ф.Н. Лисецкий с соавторами приводят карту горизонтального расчленения Тарханкутского полуострова на которой максимальные значения достигают более 5 км/кв. км, что превышает максимальные значения, рассчитанные нами для всей территории Крымского полуострова. Подобная картина наблюдается и в работе [25], где авторы получают максимальные значения густоты расчленения рельефа для центрального предгорья Главной гряды Крымских гор от 4,5 до 5 км/кв. км, в то время как по нашим расчетам для Крымского полуострова максимальное значение составляет 4,4 км/кв. км. Учитывая тот факт, что и в работах [25, 26] заявлена такая же методика исследования (использование ArcGIS и набора инструментов «Гидрология»), как и в нашем исследовании то это можно объяснить двумя способами. Во-первых, так как в работах [25, 26] подробно не описаны все шаги выполнения работы то можно предположить, что возможны мелкие различия в шагах выполнения при использовании набора инструментов «Гидрология»,

или же при интерполяции полученных значений, которые в конечном счете повлияли на итоговый результат. И во-вторых, поскольку при моделировании эрозионной сети для всей территории Крымского полуострова, в отличие от только его части, происходит сглаживание и пренебрежение алгоритмами обработки ГИС самых мелких элементов эрозионной сети, то для части целого возможно получение отличающихся результатов, причем в сторону детализации и укрупнения, что мы можем наблюдать в работах [25, 26]. Еще более отчетливо, это подтверждается в работе [27], где А.А. Клюкин показывает, что в районе вулканического массива Карадаг и его окрестностях «густота расчленения рельефа по топографической карте масштаба 1:10000 составляет 2-14 км/кв. км [27, С. 63]» и далее отмечает, что «основную роль в горизонтальном расчленении рельефа играют мелкие эрозионные формы ... В горной группе Карадаг на их долю приходится 96% количества звеньев и 88% длины эрозионных систем [27, С. 64]». К тому же в работе [28, С. 71] А.А. Клюкин отмечает, что среднее значение горизонтального расчленения на территории Карадага и окрестностей составляет 9,5 км/кв. км. Учитывая тот факт, что ландшафтно-типологическая карта, используемая в анализе [21] имеет масштаб построения 1:200000, и построение карты густоты расчленения рельефа выполнено также для всей территории Крымского полуострова, то очевидно что при сравнении с более крупными масштабами могут возникать неточности из-за исходных данных. Таким образом необходимо учитывать рабочий масштаб исследования.

В Национальном атласе Украины [29] приводятся карта горизонтального расчленения рельефа для Крымского полуострова, на которой значение рассматриваемого фактора изменяется от 0 до 0,5 км/кв. км. При этом большая часть гидроморфного и плакорного ландшафтных уровней имеет значения расчленения рельефа от 0 до 0,1 км/кв. км, а максимальные значения характерны для среднегорного ландшафтного уровня и составляют от 0,4 до 0,5 км/кв. км. В тоже время стоит отметить, что карта густоты расчленения рельефа в работе [29, С. 157] построена с учетом только постоянных водотоков, что крайне неточно, особенно для Крымского полуострова, так как здесь большинство водных объектов могут пересыхать в течении засушливого сезона [30].

Очень похожие данные на наши, приводятся в работе [21] для территории Тарханкутского полуострова, где указывается что «участки с высокими показателями интенсивности горизонтального расчленения (1,5-2,0 км/кв. км) на водоразделах приурочены к сводовым частям антиклинальных структур» [21, С. 297]. В работе [21, С. 303] так же указывается, что в пределах плакорного ландшафтного уровня «структурные овражно-балочные равнины имеют большую горизонтальную расчлененность (от 2 до 3,5 км на 1 кв. км) ... В лощинно-балочных равнинах густота

расчленения 1,0-2,0 км на 1 кв. км». По нашим расчетам группа местностей «наклонные овражно-балочные равнины с ковыльно-типчачковыми, петрофитными и кустарниковыми степями» характеризуется средними значениями 1,1 км/кв. км и изменяется от 0 до 3,1 км/кв. км, а группа местностей «структурные пологонаклонные ложинно-балочные равнины с ковыльно-типчачковыми и разнотравно-ковыльно-типчачковыми степями» характеризуется средними значениями 1,0 км/кв. км и изменяется от 0 до 3,3 км/кв. км.

Таким образом можно утверждать, что на данный момент получены наиболее полные данные о густоте расчленения рельефа на территории Крымского полуострова и в пределах различных таксономических единиц ландшафтной сферы в пределах территории Крымского полуострова.

## ВЫВОДЫ

В работе впервые проанализировано влияние фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» на развитие ландшафтных уровней, ландшафтных зон, ландшафтных поясов и ярусов, а также групп местностей Крымского полуострова. Получены новые количественные данные о факторном пространстве, в котором существуют ландшафты Крымского полуострова. Установлены статистические значения фактора «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» для каждой таксономической единицы ландшафтной организации Крымского полуострова. Выявлено, что фактор «Густота расчленения рельефа, км/кв. км» слабо дифференцирует ландшафтную структуру Крымского полуострова и по своей природе может быть отнесен к факторам, формирующим аazonальные ландшафты, т.к. максимальные значения фактора приурочены к долинам рек и сухоречий Крымского полуострова.

*Исследование выполнено в рамках темы НИР «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий. Регистрационный номер: 121040100327-3».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. Москва: Недра, 1975. 183 с.
2. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. Москва: Государственное издательство географической литературы, 1952. 188 с.
3. Tzvetkov J. Relief visualization techniques using free and open source GIS tools // Polish Cartographical Review. 2018. Vol. 50(2). pp. 61-71. DOI 10.2478/pcr-2018-0004

4. Lončar N., Grcić I. GIS-based analysis of doline density on Miljevci karst plateau (Croatia) // Acta Carsologica. 2022. Vol. 51(1). Pp. 9-21. DOI 10.3986/ac.v51i1.10465

5. Salunke K. A. et al. Quantitative Analysis of a River Basin-A GIS-based Approach // Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT). 2021. V. 12. №. 3. Pp. 3429-3436.

6. Курлович Д. Морфометрический ГИС-анализ рельефа Беларуси // Земля Беларуси. 2013. №. 4. С. 42-48.

7. Михайлов В. А. Комплексный морфометрический анализ Тарханкутского полуострова с помощью ГИС // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 2-4. С. 5-13.

8. Погорелов А. В., Думит Ж.А. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования // Географические исследования Краснодарского края: Сборник научных трудов / Ответственный редактор А.В. Погорелов. Краснодар: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный университет", 2007. С. 7-23. EDN SWTJMJ.

9. Атаев З. В., Братков В. В. Оценка эрозионного расчленения рельефа Северо-Восточного Кавказа методами ГИС-технологий // Мониторинг. Наука и технологии. 2012. № 1(10). С. 63-67.

10. Тесленок С. А., Манухов В. Ф., Тесленок К. С. Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия // Геодезия и картография. 2019. Т. 80. №7. С. 30-38.

11. Львова Е.В. Равнинный Крым: Геол. строение, гидрогеология, охрана природы. Киев: Наукова думка, 1978. 188 с.

12. Кривогуз Д. О. Методические подходы к пространственному региональному анализу устойчивости территории к склоновым процессам // Геоинформатика. 2018. № 2. С. 20-26.

13. Табунщик В.А., Петлюкова Е.А. Густота расчленения рельефа на территории Крымского полуострова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2019. № 1(201). С. 95-100.

14. Табунщик, В.А. Глубина расчленения рельефа на территории Крымского полуострова // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. № 2. С. 95-105. DOI 10.35595/2414-9179-2020-2-26-95-105

15. Табунщик В.А., Келип А.А., Андрончик Я.О. Анализ абсолютных высот рельефа в пределах ландшафтов Крымского полуострова // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского - Природного заповедника РАН. 2021. № 4(20). С. 54-66.

16. Закаличная О.В., Мельничук А.Ю. Морфометрические характеристики рельефа агроландшафтов Симферопольского района Республики Крым // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64. № 2. С. 200-209. DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-200-209

17. Дутова П. А., Быстрова И. В., Смирнова Т. С., Ершов М. А. Рельеф Крымского полуострова // Современные проблемы географии: Межвузовский сборник научных статей, Астрахань, 15–16 января 2017 года / Составители: В.В. Занозин, М.М. Июлин, А.Н. Бармин, А.З. Карабаева. Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Астраханский государственный университет», 2017. С. 144-149. EDN YKHNBJ.

18. Калинин И.В., Позаченюк Е.А. Оценка степени коадаптации агроландшафтов Раздольненского района Республики Крым // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2016. Т. 2 (12). № 4. С. 13-30.

19. Кузнецов А. Г. Геоморфологическая характеристика Юго-Западной части предгорного Крыма / А. Г. Кузнецов, А. Г. Кузнецов // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2010. Т.23(62). № 2. С. 48-51.

20. Dublyansky Y. V., Klimchouk A. B., Tokarev S. V., Amelichev G. N., Spötl C. Groundwater of the Crimean peninsula: a first systematic study using stable isotopes // *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2019. Vol. 55(5). Pp. 419-437. DOI 10.1080/10256016.2019.1650743.

21. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий / Е. А. Позаченюк, В. М. Шумский, А. М. Лесов [и др.]; Республиканский комитет Автономной республики Крым по охране окружающей природной среды Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.

22. Подгородецкий П. Д. Историческая физическая география. Симферополь: ТНУ, 2015. 214 с.

23. Пахомова О. М. Оценка ландшафтно-геоморфологических условий горного Крыма для целей рекреации и туризма // Проблемы и перспективы развития туризма в Южном федеральном округе: Сборник научных трудов, Севастополь, 11–14 октября 2017 года. Севастополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2017. С. 205-207.

24. Физико-географическое районирование Украинской ССР / Под ред. проф. В.П. Попова [и др.]. Киев: Изд-во Киевского ун-та, 1968. 683 с.

25. Лисецкий Ф.Н., Маринина О. А., Буряк Ж.А. Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма = A geoarcheological survey of the historical landscapes of Crimea. Воронеж: ВГУ, 2017. 431 с.

26. Позаченюк Е. А., Петлюкова Е.А. ГИС-анализ морфометрических показателей рельефа Центрального предгорья главной гряды крымских гор для целей ландшафтного планирования // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2016. Т. 2 (68). № 2. С. 96-113.

27. Клюкин А. А. Экогеодинамика Крыма. Симферополь: Таврия, 2007. 320 с.

28. Природа Карадага / [М.М. Бескаравайный, Н.С. Костенко, Л.П. Миронова и др.]; Под ред. А.Л. Морозовой, А.А. Вронского. Киев: Наукова думка, 1989. 284 с.

29. Національний атлас України / голов. ред. Л. Г. Руденко; голова ред. кол. Б. Є. Патон. К.: ДНВП «Картографія», 2007. 435 с.

30. Тимченко З.В. Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов. Симферополь: ДОЛЯ, 2007. 219 с.

## REFERENCES

1. Spiridonov A.I. Geomorphological mapping. Moscow: Nedra, 1975. 183 p.

2. Spiridonov A.I. Geomorphological mapping. Moscow: State Publishing House of Geographical Literature, 1952. 188 p.

3. Tzvetkov J. Relief visualization techniques using free and open source GIS tools // *Polish Cartographical Review*. 2018. Vol. 50(2). Pp. 61-71. DOI 10.2478/pcr-2018-0004

4. Lončar N., Grcić I. GIS-based analysis of doline density on Miljevci karst plateau (Croatia) // *Acta Carsologica*. 2022. Vol. 51(1). Pp. 9-21. DOI 10.3986/ac.v51i1.10465

5. Salunke K. A. et al. Quantitative Analysis of a River Basin-A GIS-based Approach // *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*. 2021. V. 12. № 3. Pp. 3429-3436.

6. Kurlovich D. Morphometric GIS-analysis of the relief of Belarus // *Land of Belarus*. 2013. № 4. Pp. 42-48.

7. Mikhailov V. A. Complex morphometric analysis of the Tarkhankut peninsula using GIS // *Modern scientific research and innovation*. 2015. no. 2-4. Pp. 5-13.

8. Pogorelov A.V., Dumit Zh.A. Morphometry of the relief of the Kuban River basin: some results of digital modeling // *Geographical research of the Krasnodar Territory: Collection of scientific papers / Responsible editor A.V. Pogorelov*. Krasnodar: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Kuban State University", 2007. Pp. 7-23. EDN SWTJMJ.

9. Ataev Z. V., Bratkov V. V. Assessment of erosion dismemberment of the relief of the North-Eastern Caucasus by GIS-technologies methods // *Monitoring. Science and technology*. 2012. №1(10). Pp. 63-67.

10. Teslenok S. A., Manukhov V. F., Teslenok K. S. Digital modeling of the relief of the Republic of Mordovia // *Geodesy and cartography*. 2019. Vol. 80. No. 7. Pp. 30-38.

11. Lvova E.V. Plain Crimea: Geological structure, hydrogeology, nature protection. Kiev: Naukova dumka, 1978. 188 p.

12. Krivoguz D.O. Methodological approaches to spatial regional analysis of the stability of the territory to slope processes // *Geoinformatics*. 2018. № 2. Pp. 20-26.

13. Tabunschik V.A., Petlyukova E.A. Density of relief dissection on the territory of the Crimean peninsula

- // News of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Natural Sciences. 2019. № 1(201). Pp. 95-100.
14. Tabunschik, V.A. Depth of relief dissection on the territory of the Crimean Peninsula // *InterCarto. InterGIS*. 2020. Vol. 26. № 2. Pp. 95-105. DOI 10.35595/2414-9179-2020-2-26-95-105
15. Tabunschik V.A., Kelip A.A., Andronchik Ya.O. Analysis of absolute relief heights within the landscapes of the Crimean Peninsula // *Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky - Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences*. 2021. № 4(20). Pp. 54-66.
16. Zakalichnaya O.V., Melnichuk A.Yu. Morphometric characteristics of the relief of agricultural landscapes of the Simferopol district of the Republic of Crimea // *Izvestia of Higher educational institutions. Geodesy and aerial photography*. 2020. Vol. 64. № 2. Pp. 200-209. DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-200-209
17. Dutova P. A., Bystrova I. V., Smirnova T. S., Ershov M. A. Relief of the Crimean peninsula // *Modern problems of geography : Interuniversity collection of scientific articles*, Astrakhan, January 15-16, 2017 / Compiled by: V.V. Zanozin, M.M. Iolin, A.N. Barmin, A.Z. Karabaeva. Astrakhan: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Astrakhan State University", 2017. Pp. 144-149. EDN YKHNBK.
18. Kalinchuk I.V., Posachenjuk E.A. Assessment of the degree of coadaptation of agricultural landscapes of the Razdolnensky district of the Republic of Crimea // *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*. 2016. Vol. 2 (12). № 4. Pp. 13-30.
19. Kuznetsov A. G. Geomorphological characteristics of the Southwestern part of the foothill Crimea / A. G. Kuznetsov, A. G. Kuznetsov // *Scientific notes of the Tauride National University named after V.I. Vernadsky*. Series: Geography. 2010. T. 23(62). № 2. Pp. 48-51.
20. Dublyansky Y. V., Klimchouk A. B., Tokarev S. V., Amelichev G. N., Spötl C. Groundwater of the Crimean peninsula: a first systematic study using stable isotopes // *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2019. Vol. 55(5). Pp. 419-437. DOI 10.1080/10256016.2019.1650743.
21. Modern landscapes of the Crimea and adjacent water areas / E. A. Pozachenjuk, V. M. Shumsky, A.M. Lesov [et al.]; Republican Committee of the Autonomous Republic of Crimea for Environmental Protection of V.I. Vernadsky Tauride National University. Simferopol: Business-Inform, 2009. 672 p.
22. Podgorodetsky P. D. Historical physical geography. Simferopol: TNU, 2015. 214 p.
23. Pakhomova O. M. Assessment of landscape-geomorphological conditions of the mountainous Crimea for the purposes of recreation and tourism // *Problems and prospects of tourism development in the Southern Federal District: Collection of scientific papers*, Sevastopol, October 11-14, 2017. Sevastopol: Limited Liability Company "Publishing House Printing House "Arial", 2017. Pp. 205-207.
24. Physical and geographical zoning of the Ukrainian SSR / Edited by prof. V.P. Popov [et al.]. Kiev: Publishing House of the Kiev University, 1968. 683 p.
25. Lisetsky F.N., Marinina O. A., Buryak J.A. Geoarcheological studies of historical landscapes of Crimea = A geoarcheological survey of the historical landscapes of Crimea. Voronezh: VSU, 2017. 431 p.
26. Posachenjuk E. A., Petlyukova E.A. GIS-analysis of morphometric relief indicators of the Central foothills of the main ridge of the Crimean mountains for the purposes of landscape planning // *Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*. 2016. Vol. 2 (68). № 2. Pp. 96-113.
27. Klyukin A. A. Exogeodynamics of the Crimea. Simferopol: Tavria, 2007. 320 p.
28. The nature of Karadag / [M.M. Beskaravayny, N.S. Kostenko, L.P. Mironova, etc.]; Edited by A.L. Morozova, A.A. Vronsky. Kiev: Naukova dumka, 1989. 284 p.
29. National Atlas of Ukraine / head. ed. L. G. Rudenko; head. ed. Col. B. E. Paton. K.: DNVP "Cartografiya", 2007. 435 p.
30. Timchenko Z.V. Surface water bodies of Crimea. Management and use of water resources. Simferopol: DOLYA, 2007. 219 p.

## DENSITY OF RELIEF DISSECTION WITHIN LANDSCAPES OF THE CRIMEAN PENINSULA

Tabunshchik V.A.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (IBSS),  
299011, 2 Nakhimov Avenue, Sevastopol, Russia

**Abstract:** An analysis of the spatial variability of the environmental factor is given «Density of relief dissection, m/sq. km» within the landscapes of the Crimean Peninsula, are obtained as a result of processing geoinformation modelling data. On the basis of the constructed model of the density of relief dissection for the territory of the Crimean Peninsula for each landscape taxonomic unit, the values of descriptive statistics elements characterizing the minimum, maximum, average value of the factor «Density of relief dissection, km/sq. km» within each taxonomic unit, as well as the median values and the value of the factorial amplitude. It was revealed that according to the factor «Density of relief dissection, km/sq. km» landscapes of the Crimean Peninsula are extremely weakly differentiated. A database has been created with the values of the indicator «Density of relief subdivision, m/sq. km» within the landscapes of the Crimean Peninsula.

**Subject:** quantitative assessment of the index of the density of relief dissection within the taxonomic units of the landscape sphere within the Crimean Peninsula. The study is a way to solve the problem of the lack of geomorphological data on the density of relief dissection for certain regions of the Crimean Peninsula. In the context of the landscapes of the Crimean Peninsula, such a study is carried out for the first time.

**Materials and methods:** The construction of cartographic models was carried out in the ArcGIS 10 software package. Geoinformation research methods were used for input of initial data, their processing and output of statistical information. The statistical programs Statistica 10 and R Studio were also used for data processing. In addition, literary-analytical, comparative-geographical, comparative-historical and a number of other research methods are also used.

**Results:** primary statistical data were obtained and a database was created with the values of the indicator «Density of relief dissection, m/sq. km» within the landscapes of the Crimean Peninsula.

**Conclusions:** for the Crimean Peninsula, the calculation of the density of relief dissection in the context of taxonomic units of the landscape sphere was carried out for the first time. The data obtained are relevant in the course of work on territorial and landscape planning, as part of geological and hydrological surveys, and for making management decisions.

**Keywords:** landscape, the Crimean Peninsula, relief, relief dissection, density of relief dissection.

УДК 628.166.094.3 (477.75)

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ АЛЬМА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ)

Скрябин А.Ю.<sup>1</sup>, Иванкова Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»  
346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,  
e-mail: <sup>1</sup>vicsakhranov@ya.ru, <sup>2</sup>academy-design@mail.ru

**Аннотация.** Основные трудности с водоснабжением современного Крыма обусловлены дефицитом питьевой воды, низкой санитарной надежностью систем водоподготовки, отсутствием достаточного количества обеззараживающих установок в сельской местности, неудовлетворительным состоянием водопроводных сетей. В создавшихся условиях весьма актуальной задачей стало обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности населения путем сохранения экологической безопасности функционирования инженерно-технических систем Крыма, в том числе сооружений, станций и установок по очистке и обеззараживанию природных и сточных вод. В статье рассмотрены вопросы и пути решения проблем утилизации и повторного использования отходов от электролизного гипохлорита натрия, производимого на водоочистных сооружениях для обеззараживания питьевой воды. Рекомендованы новые технологические решения по обеспечению экологической безопасности и безотходностью работы электролизных установок получения гипохлорита натрия из водных растворов поваренной пищевой соли.

**Предмет исследования:** Обоснование применения гипохлорита натрия для обеззараживания питьевой воды на Партизанских водопроводных очистных сооружениях взамен привозного жидкого хлора с целью обеспечения экологической безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности населения близлежащих территорий.

**Материалы и методы:** Гидрохимические показатели качества воды Партизанского водохранилища, суточная производительность водопроводных очистных сооружений, электрохимический метод производства гипохлорита натрия путем электролиза раствора поваренной соли.

**Результаты:** Представлена новая технологическая схема очистки и повторного использования промывной воды солерастворителя в установках «ХЛОРЭФС».

**Выводы:** Решены задачи экологической и промышленной безопасности в результате использования раствора гипохлорита натрия для обеззараживания питьевой воды на Партизанских водопроводных очистных сооружениях (Республики Крым) взамен привозного жидкого хлора на установках «ХЛОРЭФС» с использованием или оборотом всех применяемых в технологиях реагентов (воды, поваренной соли, кислоты).

**Ключевые слова:** дефицит воды, бактериальное и вирусное загрязнение воды, обеззараживание воды, гипохлорит натрия, электролизная установка, декарбонизация, солерастворитель, безотходная технология.

## ВВЕДЕНИЕ

Экологически грамотное водопользование возможно лишь на территориях, где проведено планирование и разработан комплексный план охраны природы, опирающиеся на научно-обоснованную систему управления. При решении проблемы водоснабжения и водоотведения Крыма с населением около 2,5 млн. чел. следует учитывать, что полуостров в силу географического положения и природно-климатических особенностей занимает одно из ведущих мест в ряду самых малообеспеченных водными ресурсами регионов России [1], меньше, чем в среднем по России, в 64 раза. Реки Крыма имеют важное экономическое значение, поскольку используются для поставки питьевой воды, промышленного водоснабжения и орошения. Для Южного берега Крыма, Бахчисарайского и Белогорского районов, районов Севастополя и Симферополя, реки являются практически единственным источником водных ресурсов. Неустойчивый (сезонный) сток рек, который нельзя использовать без его регулирования, вызвал необходимость строительства водохранилищ сезонного типа, направленных на аккумуляцию многоводных

зимне-весенних периодов для использования в маловодные летние и осенние сезоны.

Первое в Крыму водохранилище, наполняемое стоком реки Альма, с которой соединялось каналом длиной 5 км, было построено в начале 30-х годов. Для водоснабжения г. Симферополь было сооружено в три очереди Аянское водохранилище и когда этой воды оказалось недостаточно, в 1955 г. было построено Симферопольское водохранилище емкостью 36 млн.м<sup>3</sup>. С последующим развитием города население Симферополя стало испытывать дефицит воды и в 1966 г. на реке Альма были построены сначала русловое Партизанское водохранилище объемом 34,4 млн. м<sup>3</sup>, а затем и наливное Альминское водохранилище [2]. Из Партизанского водохранилища, наполняемого водой реки Альма, на нужды потребителей питьевой воды г. Симферополь на водопроводные очистные сооружения «Партизанский гидроузел» ежесуточно забирается до 80 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Река Альма практически на всем своем протяжении протекает через неканализованные села и сельскохозяйственные территории, с которых принимает значительный объем загрязненных хозяйственно-бытовых вод с частных домовладений и сельскохозяйственных полей, а также сточные воды с городских очистных сооружений водопровода и канализации. Нехватка водных

ресурсов в реке Альма привела к ухудшению экологического состояния воды в реке в связи с увеличением водоотбора из русла. Качество воды в реке Альма вниз по течению меняется от первого (чистая) до шестого (очень грязная) классов, что связано со сбросом сточных вод более 50 водопотребителей, отсутствием систем очистки воды у сельского населения, несанкционированным изъятием воды для хозяйственно-бытовых нужд и др. [3].

Антропогенное воздействие с различной степенью интенсивности на состояние природно-технической системы бассейна реки Альма из-за сброса неочищенных, недостаточно очищенных и необеззараженных сточных вод с коммунальных, промышленных, сельскохозяйственных объектов, а также сброса дождевых, талых, шахтных и др. вод напрямую связано с высоким бактериальным и вирусным загрязнением источника водоснабжения, что усугубляется неудовлетворительным состоянием разводящей водопроводной сети. Сооружения водоподготовки не способны обеспечить необходимую степень очистки воды для питьевых нужд. Это относится и к обеззараживанию воды – главному барьеру на пути передачи водных инфекций. Такая ситуация требует обеспечения эпидемиологической и экологической безопасности, что побуждает создание новых методов и технологий ее дезинфекции и внедрения в практику.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Традиционно проблема санитарно-эпидемиологической безопасности питьевой воды решается хлорированием, которое продолжает оставаться самым распространенным в мире способом обеззараживания воды в силу своей санитарно-гигиенической надежности, пролонгированности бактерицидного действия, относительной простоты и экономичности. Практика обеззараживания питьевой воды хлорированием, получившая в России становление в Кронштадте (1910 г.) и последующее развитие в Петербурге (1912 г. на Центральной водопроводной станции), практически позволила эффективно обеспечить санитарную безопасность населенных мест. За исключением диоксида хлора, дезинфицирующее действие всех хлорных реагентов (газообразного хлора, хлорной извести, гипохлоритов, хлораминов и др.) основано на том, что при введении их в воду они образуют хлорноватистую кислоту, которая оказывает непосредственное окисляющее и антимикробное действие. Однако, в свете современных требований обеззараживание воды газообразным хлором, завозимым на водоочистные станции в сжиженном виде, имеет ряд недостатков, среди которых самым существенным является способность хлора в случае его утечки поражать не только обслуживающий персонал, но и население прилегающей к

водоочистной станции территории. Транспортирование емкостей с хлором по селитебным зонам и хранение его многотоннажных запасов на водоочистных станциях, многие из которых уже стали опасно соседствовать с расширяющейся городской жилой застройкой, представляет реальную опасность для городов и населенных пунктов. Это обстоятельство стало решающим при отказе от опасного сжиженного хлора, и применению иных средств, сочетающих положительные качества хлорирования и отсутствие его недостатков. С точки зрения обеспечения эпидемиологической безопасности централизованного водоснабжения все хлорсодержащие реагенты одинаково надежны и эффективны, во всяком случае, на сегодняшний день нет опубликованных достоверных данных о массовом микробном отравлении потребителей питьевой водой, содержащей одновременно и патогенную микрофлору и активный (свободный или связанный) хлор. Как следствие, при выборе хлорсодержащего продукта (газообразный хлор, диоксид хлора, хлорамин, хлорная известь, высоко- или низкоконтрированный гипохлорит натрия, «влажная газообразная смесь оксидантов» и т.д.) его преимущества следует искать не в каком-то супербактерицидном эффекте, а в безопасности его доставки и хранения; технологичности применения; образовании, количестве и составе побочных отходов при производстве продукта на месте его применения (гипохлоритов, диоксида хлора, мембранный хлоркаустиковый электролиз); сроках и условиях сохранения рабочих характеристик продукта; стоимости поставляемого готового хлорсодержащего дезинфектанта или аппаратов, производящих его непосредственно на площадке водоочистных сооружений.

Мировой опыт научного поиска альтернативных жидкому хлору дезинфектантов обосновал, а в дальнейшем и подтвердил на практике перспективность и преимущества применения для обеззараживания воды низкоконтрированного (7-8 г/л по эквиваленту хлора) электролитического гипохлорита натрия (ГХН), производимого на месте потребления в требуемом количестве путем безмембранного электролиза раствора поваренной соли.

При сравнительной схожести в мировой практике технологий электролитического получения ГХН конкурентоспособность электролитных установок определяется в основном: возможностью применения соли любого качества; энергозатратами; расходами на подготовку воды, используемой для растворения соли; безотходностью технологического цикла, исключая сбросы образующихся при электролизе отходов в производственную канализацию; экологической безопасностью и надежностью производства ГХН. Следуя этим положениям при согласовании проектной документации с Заказчиком (как правило, с «Водоканалом») и такими ведомствами, как:

Управление государственной вневедомственной экспертизы, федеральная служба по экологическому надзору, Росприроднадзор и др. они справедливо требуют включения в общую технологию получения ГХН и узлов очистки с повторным использованием производственных отходов и сточных вод (с выводом из материального баланса, обезвоживанием и утилизацией нерастворимой фазы), образующихся при: кондиционировании воды (умягчения или декарбонизации), используемой для солерастворения; промывке сатураторов (солерастворителей); кислотной промывке электролизеров от катодных отложений; промывке фильтров тонкой очистки насыщенного солевого раствора и отстоянной возвратной воды от промывки сатураторов с сооружений повторного использования.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках реализации инвестиционной программы Государственного унитарного предприятия «Вода Крыма» по развитию систем водоснабжения и водоотведения Республики Крым на 2020-2024 годы, в том числе решения задачи раздела «Водоснабжение» по переходу на безопасные методы обеззараживания воды и мероприятий, направленных на повышение экологической эффективности объектов централизованных систем водоснабжения, было поручено ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск Ростовской области) запроектировать и внедрить безотходную технологию обеззараживания питьевой воды г. Симферополя с электролизными

установками «Хлорэфс», разработанных и производимых этим предприятием.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Подача сырой воды на очистные сооружения (ВОС) г. Севастополь осуществляется из Партизанского водохранилища, наполняемого водой реки Альма. Проектная производительность ВОС составляет  $Q=100$  тыс.м<sup>3</sup>/сут, хлорирование воды осуществлялось газообразным хлором суммарной дозой  $D=3,5$  г/м<sup>3</sup> с суточным потреблением  $G_{сут}=Q \cdot D/1000 = 100\ 000 \cdot 3,5/1000 = 350$  кг/сут. Дополнительно в городскую водопроводную сеть подается 30 тыс.м<sup>3</sup>/сут воды из Аянского водохранилища, которая считается наиболее качественной среди водохранилищ города и подается в центральный водопровод без очистки с применением только хлорирования при дозе хлора 3,0 г/м<sup>3</sup> с его суточным потреблением 75 кг/сут. Дезинфекцию Аянской воды производили привозным концентрированным ГХН. Поскольку при использовании этого реагента существует ряд особенностей (зарастание трубопроводов, отложение нерастворимых осадков в дозирующих насосах и точках ввода и др.), которые не были учтены на площадке, то оборудование и дозирующие насосы вышли из строя. Некоторое время на Аянском водозаборе эксплуатировалась электролизная установка производительностью 10 кг/сут. по эквиваленту хлора (производства «Промтехвод», Украина), которая была выведена из эксплуатации в силу ряда технических недоработок и не покрывала потребностей площадки в обеззараживающем реагенте. В итоге на Аянском водозаборе стали применять газообразный хлор с использованием хлораторов вакуумного типа.



**Рис. 1.** Электролизная станция на Александровских ОСВ с семью установками «ХЛОРЕФС» производительностью 7 т/сут по эквиваленту хлора для обеззараживания питьевой воды г. Ростова-на-Дону

**Fig. 1.** Electrolysis station at the Aleksandrovsy water treatment plants with seven CHLOREFS plants with 7 tons/day capacity of chlorine equivalent for drinking water disinfection, Rostov-on-Don



**Рис. 2.** Электролизная станция производительностью 750 кг/сут по эквиваленту хлора на водоочистных сооружениях «Партизанский гидроузел», г. Симферополь

**Fig. 2.** Electrolysis plant with 750 kg/day capacity of chlorine equivalent at the Partizansky Hydroelectric Plant water treatment plant, Simferopol



Отстойник промывных вод конструктивно представляет собой горизонтально расположенную цилиндрическую емкость с уклоном днища к грязевому приямку. Отбор осадка из приямка осуществляется периодически по мере накопления путем взмучивания его системой гидросмыва и перекачкой погружным насосом в производственную канализацию водоочистных сооружений (в систему сброса промывных вод скорых фильтров). Отбор отстоянной воды производится с верхнего уровня при помощи гибкого рукава, закрепленного на поплавке. Вода из отстойника через напорный песчаный фильтр возвращается в сатуратор. Разработанная технология позволяет вернуть в схему солерастворения практически всю воду, используемую для промывки сатуратора.

Наконец, имеется еще один вид стоков, подлежащих переводу их в состояние, отвечающее требованиям, предъявляемым к приему в промканализацию ВОС, либо возврату в схему электролиза. Это стоки от промывки электролизеров раствором соляной кислоты. В зарубежных, а по их типу и отечественных технологиях по мере образования на катодных пластинах карбоната кальция проводится периодическая промывка электролизеров в закрытом контуре 4%-ным раствором соляной кислоты. Промывка осуществляется вручную оператором подключением к очередному электролизеру передвижной мобильной установки с размещенной на ней емкостью с кислотой и циркуляционным насосом. В литературе нет информации о месте выпуска отработанной кислоты, так же, как и отработанных солевых растворов от Na-катионирования. Скорее всего, они подлежат сбросу в канализацию ВОС, что в принципе недопустимо.

В технологиях ООО НПП «ЭКОФЕС» предусмотрено стационарно установленное кислотное хозяйство с подачей через заданный временной интервал (100–200 ч) в автоматическом режиме 5-7% раствора HCl отдельно на каждый установленный электролизер, что исключает «человеческий» фактор при принятии оператором решения о необходимости промывки. Соляная кислота многократно используется до полной её нейтрализации, и уже нейтральный раствор небольшим расходом возвращается в сатуратор.

Таким образом, технологии приготовления солевых растворов, подготовки воды для электролиза с целью минимизации катодных отложений, кислотной промывки катодов являются экологически чистыми и безотходными со 100% использованием или оборотом всех применяемых в технологии электролиза реагентов (воды, поваренной соли, соляной кислоты).

## ВЫВОДЫ

В связи со сложившейся критической экологической ситуацией в бассейне реки Альма, являющейся источником питьевой воды г. Симферополь, необходим комплекс природоохранных мероприятий по минимизации сбросов неочищенных сточных вод, в том числе и образующихся на водоочистных станциях путем внедрения безотходных технологических циклов на этапах кондиционирования и обеззараживания воды.

Тенденция дальнейшего развития электролизных станций в направлении увеличения их производительности по вырабатываемому активному хлору требует включения в общую технологическую схему производства гипохлорита натрия узлов очистки и повторного использования стоков, образующихся при кондиционировании воды, солерастворении и кислотной промывке электролизеров.

При подготовке воды для солерастворения более предпочтительна кислотная декарбонизация, при которой не образуются вторичные сточные воды, и может быть использована соль любой сортности.

Применение низкосортной соли технологически реализуемо при условии ее растворения в сатураторах, оборудованных системами подачи и отвода промывной воды.

Сооружения очистки и повторного использования промывных вод, включающие песколовку, отстойник, пескоотмывочную машину и фильтры, позволяют вернуть в схему солерастворения практически всю воду от промывки сатуратора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николенко И.В. Основные направления разработки комплекса мер по решению проблем дефицита воды в Крыму / И.В. Николенко, А.М. Копачевский // Строительство и техногенная безопасность – 2021. – №21(73). – С.147-160.
2. Иванкова Т.В. Современное состояние водообеспеченности Республики Крым и возможные дополнительные источники воды / Т.В. Иванкова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 3. – С. 4-11.
3. Иванкова, Т. В. Оценка степени антропогенной нагрузки в бассейне малой реки Альмы / Т.В. Иванкова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 12. – С. 4-12.
4. Фесенко Л.Н. Пути решения экологичности и безотходности производства электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания питьевых вод / Л.Н. Фесенко, С.И.Игнатенко, А.Ю.Скрябин, И.В. Пчельников // Водоочистка. –2014. – № 3. – С. 9-16.

## REFERENCES

1. Nikolenko I.V., A.M. Kopachevsky The main directions for the development of a set of measures to solve the problems of water shortage in the Crimea Construction and man-made safety. 2021. № 21 (73). Pp.147-160.
2. Ivankova T.V. The current state of water supply of the Republic of Crimea and possible additional water sources Water supply and sanitary equipment. 2019. № 3. Pp. 4-11.
3. Ivankova T.V. Assessment of the degree of anthropogenic load in the basin of the small Alma River Water supply and sanitary equipment. 2019. № 12. Pp. 4-12.
4. Lesenko L.N., Ignatenko S.I., Scriabin A.Yu., Pchelnikov I.V. Ways to solve the environmental friendliness and waste-free production of electrolytic sodium hypochlorite for disinfection of drinking water Water treatment. 2014. № 3. Pp. 9-16.

## ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRINKING WATER BY DISINFECTION WITH SODIUM HYPOCHLORITE (BASED ON THE EXAMPLE OF THE ALMA RIVER OF THE REPUBLIC OF CRIMEA)

Skryabin A. Yu.<sup>1</sup>, Ivankova T.V.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov"

346428, Rostov region, Novocherkassk, 132 Prosvescheniya St.  
e-mail: vicsakhranov@ya.ru, academy-design@mail.ru

**Abstract.** The main difficulties with water supply in modern Crimea are due to the shortage of drinking water, low sanitary reliability of water treatment systems, lack number of sufficient disinfection plants in rural areas and unsatisfactory condition of water supply networks. Incurrent conditions, it has become a very pressing task to establish favorable conditions for vital activities of the population by maintaining environmental safety of functioning of engineering and technical systems of the Crimea, including constructions, stations and installations for purification and disinfection of natural and waste waters. The article reviews challenges and solutions of disposal and reuse of waste from electrolytic sodium hypochlorite produced at water treatment plants for drinking water disinfection. New technological solutions are recommended to ensure environmental safety and waste-free operation of electrolysis plants for sodium hypochlorite production from aqueous solutions of common salt.

**Subject of research:** Substantiation of sodium hypochlorite usage for drinking water disinfection at water treatment facilities of the Partizanskoe reservoir instead of imported liquid chlorine in order to ensure environmental safety and favorable living conditions for population of the nearby territories.

**Materials and methods:** Hydrochemical indicators of water quality of the Partizanskoe reservoir, daily productivity of water treatment facilities, electrochemical method for production of sodium hypochlorite by electrolysis of sodium chloride solution.

**Results:** A novel flowsheet for purification and reuse of saline wash water in "CHLOREFS" units is presented.

**Conclusions:** The issues of environmental and industrial safety have been solved as a result of the use of a sodium hypochlorite solution for drinking water disinfection at water treatment facilities of the Partizanskoe reservoir (the Republic of Crimea) instead of imported liquid chlorine at the "CHLOREFS" plants using or recycling all the reagents used in the technologies (water, common salt, acids).

**Key words:** water shortage, bacterial and viral water pollution, water disinfection, sodium hypochlorite, electrolysis plant, decarbonization, salt solvent, waste-free technology.

## АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ШЛАМОВЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ

Бунина Л.Н., Мовчан С.И.

Научно-производственная фирма "Флорекс"

Адрес: Запорожская область, г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 48

e-mail: bunina1974@inbox.ru; movchantsaa@rambler.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты лабораторных исследований строительных материалов, позволяющих обеспечить их экологическую безопасность на начальных стадиях подготовки. Исследован анализ токсичности образцов асфальта, керамики, кладочных изделий с добавкой шлама на различные биологические объекты методом биотестирования. В образцах, изготовленных из асфальта с добавкой 5% шлама, не выявлено следов токсичности воды и вымывания тяжёлых металлов, которые определяют уровень загрязнений. При изготовлении керамических плиток добавлением 10% отходов также доказано отсутствие токсических компонентов и свойств, которые присущи загрязнению солями тяжёлых металлов. Проведенные комплексные исследования позволяют использовать обезвоженные шламы, являющиеся высокотоксичными отходами, в качестве добавок в асфальтобетонные изделия и сырьевую смесь. При изготовлении других керамических изделий с добавками гальванических шламов существуют ограничения не по технологическим характеристикам, а по санитарно-гигиеническим показателям.

В реальных практических условиях исследована степень выщелачивания металлов хрома и цинка из образцов бетона, керамики и асфальта, а также доказана возможность использования шламов в качестве минеральной добавки к строительным материалам, которая не вызывает токсического действия. Полученные результаты исследований наглядно доказали, что по основным показателям характеристики поглощения воды и находятся в допустимом стандартном диапазоне 14% (при допустимом 16%), механическая прочность не изменяется, а также не выявлено токсических свойств.

Приведенные результаты эколого-токсикологической экспертизы выживания водорослей и дафний в воде после двухмесячной экспозиции в ней строительных материалов наглядно доказали перспективность выбранного направления научных исследований, которые значительно расширяют функциональные возможности данного вида биологического тестирования.

**Предмет исследования:** Подготовка и производство различных видов строительных изделий с целью повышения технологических и эколого-экономических показателей.

**Материалы и методы исследования:** По результатам лабораторных исследований разработаны оптимальные значения строительных изделий за счёт использования биологического тестирования полученных материалов на стадии их изготовления и использования в строительстве.

**Результаты:** Вследствие апробации различных технологических схем получены практические значения отдельных строительных изделий: термически обработанного шлама ( $\text{г/дм}^3$ ), раствора для кладки в строительстве (%) и железобетонных изделий с добавкой шламовых отходов (%), позволяющие довести оптимальные значения отдельных видов строительных изделий при следующих условиях: Dunaliella-степень иммобилизации за 5 суток (%); Elodéa canadensis – степень ингибирования увеличивается (% в сравнении с контрольным значением), при экспозиции (сут.) и Daphnia – наблюдается выживание при 48-суточной экспозиции (%), позволяющие снизить себестоимость некоторых изделий, обеспечить экологическую безопасность и значительно расширить возможность в строительстве.

**Выводы (conclusions):** проведенные исследования позволили определить схему утилизации сточных вод гальванических производств в качестве добавки к строительным материалам, а также протестировать их на живых объектах с целью обеспечения экологической безопасности.

**Ключевые слова:** биологические добавки, обезвоженные отходы, строительные материалы, керамическая плитка, железобетонные изделия.

## ВВЕДЕНИЕ

Для достижения экологической безопасности, в работе водоочистного оборудования систем оборотного водоснабжения, необходимо строгое соблюдение вопросов экологической безопасности на всех этапах работы систем оборотного, повторного и многократного использования воды в промышленном производстве. Гальваническое производство, особенно его отходы, является особенно опасным производством в промышленном секторе страны. В токсикологии продукты шестивалентного хрома принадлежит к группе соединений, обладающих канцерогенными и мутагенными свойствами. Основными источниками загрязнения окружающей среды данного вида производства являются сточные воды, которые

содержат ионы никеля, кадмия, хрома, железа. Очистка таких сточных вод производится методами химического осаждения, ионного обмена, электрокоагуляции, после чего остается большое количество необработанного осадка, для хранения которого нужны большие земельные площади, что вызывает большую проблему вторичного загрязнения окружающей среды. Поэтому основной задачей технологии обработки осадка гальванических производств является получение продукта безопасного в санитарном отношении. Его качественный состав и свойства должен обеспечивать возможность дальнейшего использования в народном хозяйстве, так как количество гальванических шламов с каждым годом растет. На рынок выпускается все большее количество хромированных деталей, а это означает,

что технологии утилизации гальванических отходов становятся все более востребованными.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

За рубежом биотестирование носит обязательный характер и его результаты имеют приоритетное значение при контроле безопасности сточных вод [1]. Биотестирование с середины XX в. широко используется в промышленно развитых странах на промышленных предприятиях, имеющих сточные воды, сбрасываемые в водные объекты или поступающие на сооружения биологической очистки. Однако методикам биотестирования посвящено не так много научных работ, так как широкое распространение метода сдерживалось отсутствием нормативно-правовых документов, регламентов токсикологического контроля и простых удобных методических руководств, пригодных для использования в условиях промышленных предприятий [2]. В работе [3] приведены различные методы биотестирования с использованием *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia affinis*, *Chlorella vulgaris*, а также прорастающих семян растений. Полученные результаты биологического тестирования показали перспективность использования этого метода, в т.ч. для строительных материалов.

Так автором [4] рассмотрена токсико-генетическая опасность образцов сточных вод с использованием клеток *Chlorella vulgaris* штамм А, выращиваемых в лабораторных условиях. Тестирование общей токсичности проводилось по двум тест-реакциям, основанным на регистрации процессов роста и развития при культивировании на поверхности агаризованных сред в течение 24 и 72 часов. Для генетического контроля осуществлялся статистически достоверный подсчет появления числа колоний водоросли *Chlorella vulgaris* А, измененных по морфологии, цвету, размерам и с необычным числом клеток.

Автор в статье в качестве биотестирования отдает приоритет на использование многоклеточных организмов, так как их системы жизнедеятельности находятся ближе к человеку [5]. В работе [6] авторы дали оценку возможности использования иловых осадков сточных вод (ОСВ) в качестве нетрадиционного органоминерального удобрения. Учитывая степень опасности загрязнения ОСВ тяжелыми металлами была дана оценка уровня загрязненности иловых осадков при помощи биологической экспресс-диагностики – фитотестирования. В качестве тест-объектов были выбраны однодольное растение ячмень и двудольное – кресс-салат. Приведенная в работе [7] техническая и экологическая характеристика оценка известным методом удаления фосфора, приведены результаты исследований схеме удаления фосфора из стоков внутриводоочной канализации с получением осадка, который после стабилизации и обезвоживания может использоваться в качестве органоминерального удобрения технических

культур. В рекомендуемой схеме целесообразно предусмотреть механическое «воздействие» как на водную часть фильтрата, так, и на жидкую, водную фракцию, поступающие на обработку – удаления фосфора из стоков.

Известны способы обработки и обеззараживания городских сточных вод, которые предусматривают условия приёма осадков, поступающим на очистные сооружения, которые полностью обеззаражены и не должны иметь источник загрязнений и заболеваний, а их состояние должно соответствовать дальнейшим технологическим операциям [8].

В работах [9, 10] рассмотрен вопрос обеспечения экологической безопасности строительных материалов на основе обезвоженных шламов сточных вод гальванических производств промышленных предприятий. Исследован анализ токсичности образцов асфальта, керамики, кладочных изделий с добавкой шламов на различные биологические объекты методом биотестирования.

Таким образом, рассматриваемая сугубо техническая проблема биологического тестирования позволят значительно расширить круг прикладных инженерных задач при обработке сточных вод, утилизации шламовых отходов гальванического производства.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

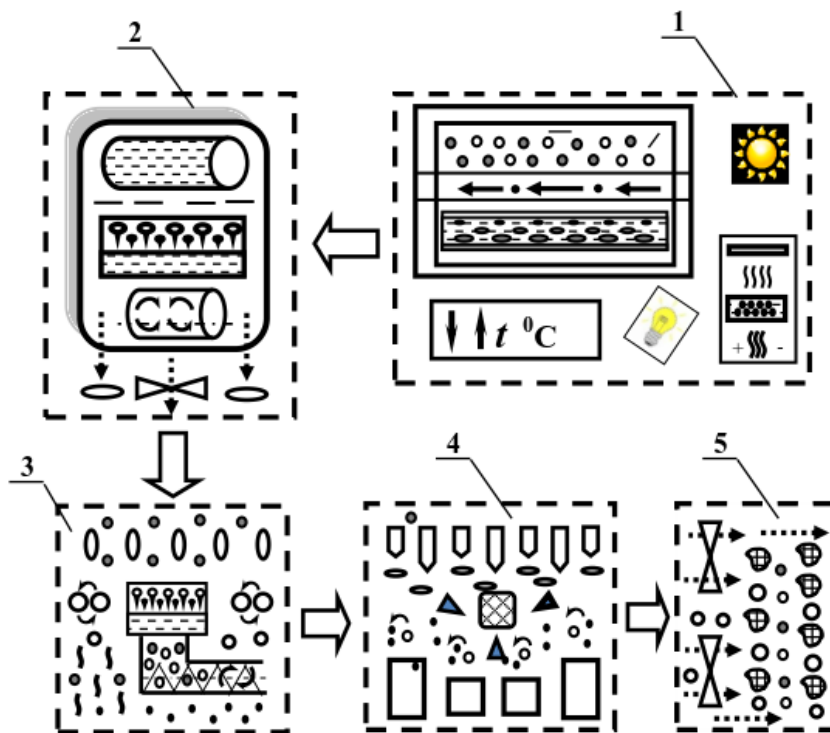
Как показал анализ предыдущих исследований, цель предлагаемой работы состоит в обосновании выбора и дальнейшему усовершенствованию метода экспресс-анализа строительных материалов биологическое тестирование.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие взаимосвязанные задачи:

1. Провести эколого-токсикологическую экспертизу материалов: шламов, используемых для производства различной строительной продукции, по результатам биологического тестирования.
2. Усовершенствовать технологическую схему тестирования образцов строительных материалов с указанием блоков подготовки, обработки и завершающих операций производства различной строительной продукции.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Биотестирование образцов строительных материалов с добавками отходов гальванического производства на экологическую безопасность проводилось в следующем порядке (рис. 1): приём и накопления отходов; регулирование температурного режима; блок формирования отходов; блок изготовления водной вытяжки; блок биологического тестирования и блок заключительный: сравнение полученных данных. Эти операции являются определяющими в установлении последовательности



**Рис. 1.** Блок-схема биологического тестирования образцов строительных материалов:  
 1 – блок пройма накопления отходов: регулирование температурного режима;  
 2 – блок формирования отходов: дробления, распределение; 3 – блок изготовления водной вытяжки;  
 4 – блок биологического тестирования: тест-объекты, вытяжка ракоподобных или/и водорослей;  
 5 – тест-объекты

**Fig. 1.** Block diagram of biological testing of samples of building materials:  
 1 – block armhole and waste accumulation: temperature control;  
 2 – waste generation unit: crushing, distribution; 3 – block for the manufacture of water extract;  
 4 – block of biological testing: test objects, extract crustaceans and/or algae;  
 5 – testing objects

В предлагаемой технологической схеме (рис. 1) биологического тестирования предусмотрено четкое разделение каждого из блоков, где производят следующие технологические операции.

**Блок приёма и накопления отходов:** контролирование и регулирование основных технологические параметры: скорость подачи жидких отходов на входе/выходе в блок, температурный режим, концентрация легких и тяжелых фракций, вредных компонентов и др.

**Блок формирования отходов:** дробления более крупных на мелкие, распределение по фракционному составу, подготовка для дальнейшего использования (складирования)

**Блок изготовления водной вытяжки,** работа которого определяет эффективность в работе всей технологической цепочки

**Блок биологического тестирования:** использование тест-объектов, подготовка вытяжка ракоподобных или/и водорослей составление протокол биотестирования строительных материалов и др., использование блоков биологического тестирования, в предлагаемой

последовательности, обеспечивает экологическую безопасность на всех этапах обработки гальванических отходов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Работа систем оборотного водоснабжения зависит от надёжной и эффективной работы каждого элемента и составной части технологии утилизации шламов гальванических предприятий.

Обезвоженные отходы гальванического производства содержат в себе отходы того производства, на котором они были получены. Ионы тяжелых металлов, остатки синтетических моющих средств, масла и нефтепродукты – вот далеко не полный перечень загрязнений, которые содержатся в отходах гальванических шламов.

Экспериментальным путём установлено основные параметры жидких, обезвоженных отходов, образующихся при обработке сточных вод гальванического производства.

В качестве объекта исследовано биологическое тестирование керамической плитки, с добавками

отходов, содержащих добавки отходов (процентное содержание) 10%, 15% и 20%, образуется прессованием, сушкой при 300°C, обжигом на утиль при 1150°C и обжигом глазури при 1000°C. При этом механическая крепость плитки не изменяется, составляет 14% поглощение воды при допустимом 16%. Экологической экспертизой указано, что вода, после экспозиции у нее в течение 60 суток

керамических плиток, не проявляет токсических свойств ни на одном из исследованных биотестов. Высокотемпературная обработка переводит металлы в невыщелачивающиеся формы.

Поэтому такой способ утилизации шламов гальванических производств экологически безопасен (табл. 1).

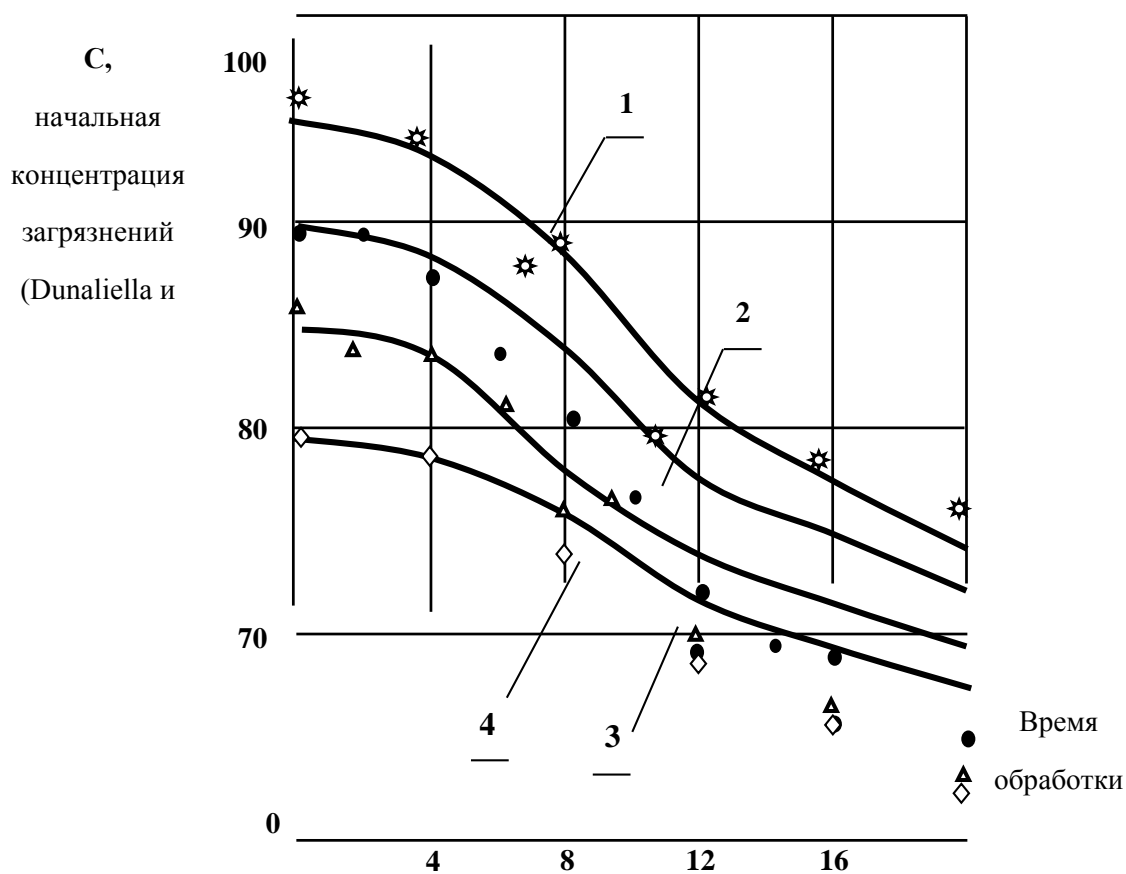
**Таблица 1.** Эколого-токсикологическая экспертиза технологии утилизации шламов гальванических предприятий  
**Table 1.** Ecological and toxicological examination of the technology for the disposal of sludge from electroplating enterprises

Образец	Результаты биологического тестирования						Daphnia – выживание при экспозиции, %			Оптимальная плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
	Dunaliella-степень иммобилизации, %, суток		Elodéa canadensis – степень ингибирования увеличивается в длину (% к значению контрольного образца) при экспозиции, суток							
	5	10	5	10	20	30	30	48	60	
Выходной шлам, г/дм <sup>3</sup>										
5	100	100	50,2	гибель	30,5	гибель	68,20	гибель	гибель	1,05
2,5	100	100	48,1	50,9	51,35	гибель	73,75	гибель	гибель	1,05
1	100	100	26,1	46,4	48,75	36,1	90,25	94,2	гибель	1,05
0,1	92,4	96,5	15,1	48,2	51,25	50,6	82,34	86,2	гибель	1,10
Термически обработанный шлам, г/м <sup>3</sup>										
5	11,5	12,25	0,1	1,5	2,05	2,9	80,25	84,1	гибель	1,10
2,5	12,8	13,0	0	0,9	1,25	2,1	75,34	78,2	гибель	1,05
1	5,0	6,5	0	0,6	0,98	1,0	83,34	86,2	гибель	1,05
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1	1,0	1,25	0	0	0	1,0	80,50	90,1	гибель	1,05
1-Добавки шлама для кладочных работ <sup>2</sup> , %										
5	100	100	38,6	гибель	24,0	гибель	48,25	гибель	гибель	1,10
10	100	100	65,2	гибель	31,25	гибель	50,25	гибель	гибель	1,10
2-Железобетон з добавкой шлама <sup>2</sup> , %										
1	58,2	65,75	35,1	51,2	48,75	62,1	38,15	50,2	гибель	1,10
5	96,4	98,0	42,4	86,2	45,35	90,2	32,40	40,2	гибель	1,05
10	100	100	90,0	гибель	38,80	гибель	26,15	39,4	гибель	1,05
3-Керамическая плитка з добавкой шлама <sup>2</sup> , %										
1	8,5	10,25	0,1	1,5	1,75	2,1	82,75	93,5	гибель	1,05
5	11,2	12,5	0,8	4,2	4,0	3,8	73,34	90,2	гибель	1,05
10	12,4	13,45	1,5	38	24	5,0	85,34	90,8	гибель	1,05
4-Асфальт з добавкой шлама <sup>4</sup> , %										
5	3,2	5,25	0,5	1,8	2,35	4,5	87,50	94,2	гибель	1,10
7,5	4,1	6,75	0,5	1,85	2,45	4,75	74,25	94,5	гибель	1,10
10	6,8	7,25	1,5	2,9	3,15	5,2	78,35	86,2	гибель	1,10

**Примечание.** <sup>1</sup>Отмечены результаты, требующие дальнейшей разработки и испытания.  
 1, 2, 3, 4 – Показан состав бетонных растворов (табл. 1), которые выбраны для исследований эколого-токсикологической экспертизы технологии утилизации шламов гальванических предприятий  
<sup>1,2,3,4</sup>Показатели, которые исследованы и учтены на суммарное количество загрязнений (рис.2).

Показатели уменьшения концентрации загрязнений (*Dunaliella* и *Elodéa canadensis*), взятых по общему количеству, в зависимости от времени обработки сточных вод (рис. 1) при начальных концентрациях, взятых по максимальной величине

(табл.1): 1 – добавки шлама для кладочных работ, %; 2 – железобетон з добавкой шлама, %; 3 – керамическая плитка з добавкой шлама, %; 4 – асфальт з добавкой шлама, %.



**Рис. 2.** Показатели уменьшения концентрации загрязнений (*Dunaliella* и *Elodéa canadensis*), взятых по общему количеству, в зависимости от времени обработки сточных вод: 1 – добавки шлама для кладочных работ, %; 2 – железобетон з добавкой шлама, %; 3 – керамическая плитка з добавкой шлама, %; 4 – асфальт з добавкой шлама, %

**Fig. 2.** Indicators of reduction in the concentration of contaminants (*Dunaliella* and *Elodea canadensis*), taken by the total amount, depending on the time of wastewater treatment: 1 – sludge additives for masonry work, %; 2 – reinforced concrete with the addition of sludge, %; 3 – ceramic tiles with the addition of sludge, %; 4 – asphalt with sludge additive, %

На рис. 2 наглядно видно, что общая концентрация загрязнений (*Dunaliella* и *Elodéa canadensis*), взятых по общему количеству, в зависимости от времени обработки сточных вод, имеет тенденцию к уменьшению. Что является неиспользованным резервом для дальнейшей разработки технологических операций, утилизации без последующей обработки, складирования и долгосрочного сохранения на свалках твердых бытовых отходов и др.

Время уменьшения концентрации загрязнений, представлены на последние пятье сутки (часов).

Исследования по оценке степени выщелачивания металлов из образцов асфальта показали, что происходит растворение цинка и за 40 суток экспозиции в природной воде в ней выявляется до 0,1% цинка от исходного содержания в шламе, через 60 суток – 1%. Результаты оценки выщелачивания хрома (VI) из бетона, керамики и асфальта представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Переход в водную фазу хрома (VI) из строительных материалов, изготовленных с добавкой шлама (3,27%) гальванического производства (экспозиция 168 часов)**Table 2.** Transition to the aqueous phase of chromium (VI) from building materials made with the addition of sludge (3.27%) from galvanic production (exposure 168 hours)

Строительный материал	Содержание цементной пыли, мас. %	Переход в воду, %	Скорость выделения мг/(в.ч.)	Время проведения исследований, минут	Категория поверхности, согласно стандарта
Асфальт с добавкой 5% шлама	10	0,018	0,006	30...60	A5
	10	0,015	0,0055	30...60	A4
	10	0,012	0,0050	30...60	A4
	10	0,010 <sup>1</sup>	0,0045	30...60	A4
	10	0,008 <sup>1</sup>	0,0040	30...60	A4
	10	0,006 <sup>1</sup>	0,0035	30...60	A4
Бетон с добавкой 5% шлама	40	0,048	0,075	60...120	A4
	40	0,045	0,070	60...120	A3
	40	0,040	0,0765	60...120	A2
	40	0,035 <sup>1</sup>	0,070	60...120	A3
	40	0,030 <sup>1</sup>	0,0765	60...120	A2
Изделие керамика <sup>1</sup> с добавкой 10% шлама	30	0,041	0,042	30...60	A4
	35	0,040	0,041	30...60	A3
	35	0,038	0,040	30...60	A3
	35	0,036 <sup>1</sup>	0,038	30...60	A3
	35	0,035 <sup>1</sup>	0,036	30...60	A3
Керамика <sup>1</sup> с добавкой 15% шлама	35	0,025 <sup>1</sup>	0,040	30...60	A4
	37,5	0,025 <sup>1</sup>	0,040	30...60	A3
	37,5	0,025 <sup>1</sup>	0,040	30...60	A3
	38	0,020 <sup>1</sup>	0,037	30...60	A3
	38	0,020 <sup>1</sup>	0,036	30...60	A3
Керамика <sup>1</sup> с добавкой 20% шлама	37,5	0,035 <sup>1</sup>	0,043	30...60	A4
	37,5	0,030	0,042	30...60	A3
	37,5	0,030	0,040	30...60	A3
	37,0	0,030	0,037	30...60	A3
	37,0	0,025 <sup>1</sup>	0,035	30...60	A3

**Примечание.** <sup>1</sup>Отмечены результаты, полученные для некоторых видов строительных материалов, требующие дальнейшей разработки, испытания и выборе оптимальных параметров и режимов.

Полученные результаты при изготовлении отдельных строительных изделий, асфальта (5% шлама) и бетона (5% шлама) с добавкой шлама наглядно свидетельствуют, что содержание цементной пыли (мас.%) остается на указанном уровне, соответственно 10 (мас. %) и 40 (мас. %), а переход в воду (%) и скорость удаления (мг/(в.ч.) уменьшается, что ограничивает не только изготовление, но и дальнейшее использование изготовленных материалов.

В данной работе, авторами выбрана оптимальная техническая схема биологического тестирования, используемой при подготовке и получении готовой продукции обработки жидких, обезвоженных отходов для изготовления строительных материалов

Таким образом, проведенные комплексные исследования позволили определить границы возможной утилизации шламов гальванических производств, образующихся при реагентной очистке сточных вод. Экологическую безопасность представляет использование шламов в качестве минеральной добавки в асфальт и сырьевую смесь для образования керамической плитки сухим прессованием.

## ВЫВОДЫ

Представленные результаты, позволяют сделать следующие выводы и предложения, связанные с использованием и исследованием биологического тестирования при комплексном подходе и

обработке сточных вод и образующегося в результате этого осадка.

1. Преимуществами биологического тестирования является скорость проведения исследований, использование в качестве объектов, определяющих простые и доступные биологические составляющие (ракообразные или водоросли) и, как следствие, получение эколого-безопасных результатов, используемых для дальнейшего использования.

2. Установлено, что по основным показателям характеристики поглощения воды и находятся в допустимом стандартном диапазоне 14% (при допустимом 16%), механическая прочность не изменяется, а также не выявлено токсических свойств. Вследствие чего происходит выщелачивание, в том числе, наиболее агрессивных загрязнений.

3. Алгоритм биологического тестирования строительных материалов, используемых для получения некоторых видов готовой продукции в строительстве позволяет обеспечить экологическую безопасность при обработке отходов гальванического производства.

4. Кроме, технических и технологических преимуществ, готовая продукция строительства обеспечивает экологическую безопасность готовой продукции, что значительно расширяет функциональные возможности, как на стадии изготовления, так, и в процессе эксплуатации уже готовых изделий.

Обеспечивается также, дальнейшее планомерное исследование строительных материалов в различных технологических режимах: например, существенный перепад температуры, влияние влажности и т.п.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарева Л.С. Организация аналитического контроля состава и свойств сточных вод / Л.С. Пономарева // Контроль качества продукции (Методы оценки соответствия). – 2008. – №2. – С. 26-31.
2. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Методы биотестирования / С.М. Чеснокова, Н.В. Чугай // Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 92 с.
3. Александрова В.В. Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод: Монография. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. – 119 с.
4. Есебуа Е.П. Биологический контроль экологической опасности сточных вод различных производств. Вестник. Наука и практика. Теоретические и практические инновации в науке / Teoretyczne i praktyczne innowacje w nauce 28.04.2012 – 30.04.2012 Гданьск/ Gdańsk <http://xn--e1aajfpcds8ay4h.com.ua/pages/view/537>.
5. Игнатенко, А. В. Биоэкологический контроль безопасности сточных вод / А.В. Игнатенко // Водные

ресурсы и климат: материалы V Международного Водного Форума, 5-6 октября 2017 г., г. Минск. – Минск: БГТУ, 2017. – Ч. 2. – С. 151-154.

6. Флюрик Е.А., Масехнович А.А. Фитотестирование осадков сточных вод / Е.А. Флюрик, А.А. Масехнович // Природные ресурсы. – 2022. – №1. – С.38-43.

7. Амбросова Г.Т. Удаление фосфора из стоков внутриплощадочной канализации / Г.Т. Амбросова, Е.Н. Матюшенко, Т.А. Купницкая, Н.В. Синеева // Изв. вузов. Строительство. – 2018. – № 10. – С. 60-70.

8. Дрозд Г. Я. Технично-экономические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод / Г.Я. Дрозд, Н.И. Изотов, В.Н. Маслак. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2001. – 340 с.

9. Чернишова Л.М., Мовчан С.И. Біологічне тестування – важливий етап підготовки будівельних матеріалів для подальшого використання. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки. 2022. Вип. 38. С.66-74. DOI: 10.32347/2524-0021.2021.37.

10. Чернишова Л.М., Мовчан С.И., Епоян С.М. Безпечність визначення стану будівельних матеріалів за рахунок використання біотестування // Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. 2022. Т. 107, №1. С.34-40.

## REFERENCES

1. Ponomareva L.S. Organizaciya analiticheskogo kontrolya sostava i svojstv stochnyh vod / L.S. Ponomareva // Kontrol' kachestva produkcii (Metody ocenki sootvetstviya). – 2008. – №2. – Pp. 26-31.
2. Chesnokova S. M. Biologicheskie metody ocenki kachestva ob"ektov okruzhayushchej sredy: ucheb. posobie. V 2 ch. Chapter 2. Metody biotestirovaniya / S. M. Chesnokova, N. V. Chugaj // Vladim. gos. un-t. – Vladimir: Izd-vo Vladim. gos. un-ta, 2008. – 92 p.
3. Aleksandrova V.V. Biotestirovanie kak sovremennyy metod ocenki toksichnosti prirodnyh i stochnyh vod: Monografiya. — Nizhnevartovsk: Izd-vo Nizhnevart. gos. un-ta, 2013. — 119 p.
4. Esebua E.P. Biologicheskij kontrol' ekologicheskoy opasnosti stochnyh vod razlichnyh proizvodstv. Vestnik. Nauka i praktika. Teoreticheskie i prakticheskie innovacii v nauke / Teoretyczne i praktyczne innowacje w nauce 28.04.2012 - 30.04.2012 Gdan'sk / Gdańsk <http://xn--e1aajfpcds8ay4h.com.ua/pages/view/537>.
5. Ignatenko, A. V. Bioekologicheskij kontrol' bezopasnosti stochnyh vod / A.V. Ignatenko // Vodnye resursy i klimat: materialy V Mezhdunarodnogo Vodnogo Foruma, 5-6 October 2017 year, Minsk. Minsk: BGTU, 2017. – Chapter 2. – Pp. 151-154.
6. Flyurik E.A., Masekhnovich A.A. Fitotestirovanie osadkov stochnyh vod / E.A. Flyurik, A.A. Masekhnovich // Prirodnye resursy. – 2022. – № 1. – Pp. 38-43.
7. Ambrosova G.T., Matyushenko E.N., Kupnickaya T.A., Sineeva N.V. Uдалenie fosfora iz stokov vnutriploshchadochnoj kanalizacii / G.T. Ambrosova, E.N.

Matyushenko, T.A. Kupnickaya, N.V. Sineeva // *Izv. vuzov. Stroitel'stvo.* – 2018. – № 10. – Pp. 60-70.

8. Drozd G. YA. *Tekhniko–ekonomicheskie zapiski po probleme utilizacii osadkov gorodskih i promyshlennyh stochnyh vod* / G.YA. Drozd, N.I. Izotov, V.N. Maslak. – Doneck: IEP NAN, 2001. – 340 p.

9. Chernishova L.M., Movchan S.I. *Biologichne testuvannya – vazhlivij etap pidgotovki budivel'nih materialiv dlya podal'shogo vikoristannya. Problemi vodopostachannya, vodovidvedennya ta gidravliki.*

2022. Edition 38. Pp. 66-74. DOI: 10.32347/2524-0021.2021.37.

10. Chernishova L.M., Movchan S.I., Epoyan S.M. *Bezpechnist' viznachennya stanu budivel'nih materialiv za rahunok vikoristannya biotestuvannya. (Safety in determining the condition of building materials at the expense of using biotesting).* *Naukovij visnik budivnictva.* Harkiv: HNUBA, HOTV ABU. 2022. Vol. 107, № 1. Pp. 34-40.

## ALGORITHM AND METHOD OF BIOLOGICAL TESTING OF BUILDING MATERIALS, MADE FROM SLUDGE LIQUID WASTE

Bunina L. N., Movchan S. I.

Scientific and production company "Florex"  
Address: Zaporozhye region, Melitopol, B. Khmel'nitsky Ave., 48  
e-mail: bunina1974@inbox.ru ; movchantsaa@rambler.ru

**Abstract.** The article presents the results of laboratory research of building materials, what gives a possibility to ensure their environmental safety at the initial stages of preparation. An analysis of the toxicity of samples of asphalt, ceramics, masonry products with the addition of sludge on various biological objects by the method of biotesting was studied. In the samples made from asphalt with the addition of 5% sludge were not found traces of water toxicity and heavy metal leaching, which determine the level of pollution. In the manufacture of ceramic tiles by adding 10% waste, the absence of toxic components and properties that are inherent in heavy metal salt contamination has also been proven. Therefore the conducted comprehensive studies allow the use of dehydrated sludge, which is highly toxic waste, as additives in asphalt concrete products and raw mix. In the manufacture of other ceramic products with the addition of galvanic sludge, there are restrictions not in terms of technological characteristics, but in terms of sanitary and hygienic indicators.

Under real practical conditions, the degree of leaching of chromium and zinc metals from samples of concrete, ceramics and asphalt has been researched, and the possibility of using sludge as a mineral additive to building materials that does not cause toxic effects has been proven. The obtained results clearly proved that, according to the main indicators, the characteristics of water absorption are in the acceptable standard level of 14% (with an allowable 16%), mechanical strength does not change, and toxic properties have not been identified.

The results of the ecological and toxicological examination of the survival of algae and daphnia in water after a two-month exposure to building materials in it proved the prospects of the chosen direction of scientific research, which significantly expand the functionality of this type of biological testing.

**Subject:** Preparation and production of various types of building products to improve technological and environmental and economic indicators.

**Material and methods:** According to the results of laboratory studies, the optimal values of building products have been developed through the use of biological testing of the materials obtained at the stage of their manufacture and use in construction.

**Results:** as a result of testing various technological schemes, the practical values of individual building products were obtained: thermally treated sludge (g/dm<sup>3</sup>), masonry mortar in construction (%), and reinforced concrete products with the addition of sludge waste (%), allowing to bring the optimal values of individual types of building products under the following conditions: Dunaliella-degree of immobilization for 5 days (%); Elodéa canadensis - the degree of inhibition increases (% compared to the control value), with exposure (days) and Daphnia - survival is observed at 48 days of exposure (%), allowing to reduce the cost of some products, ensure environmental safety and significantly expand the possibility in construction.

**Conclusions:** the conducted studies made it possible to determine the scheme for the disposal of wastewater from galvanic production as an additive to building materials, as well as to test them on living objects to ensure environmental safety.

**Key words:** biological additives, dehydrated waste, building materials, ceramic tiles, reinforced concrete products.

СПИСОК АВТОРОВ

<b>Бекиров Э. А.</b>	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Богущий Ю.Г.</b>	ст. преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Булнина Л.Н.</b>	Научно-производственная фирма «Флорекс», г. Мелитополь
<b>Велиляев С.М.</b>	обучающийся, Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, г. Симферополь
<b>Донцова А.Е.</b>	обучающийся, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
<b>Иваненко Н.А.</b>	к.т.н., доцент, Сочинский государственный университет, г. Сочи
<b>Иванкова Т.В.</b>	аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет, г. Новочеркасск
<b>Калафатов Д.А.</b>	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Когай Э.А.</b>	аспирант, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Макарова Е.С.</b>	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Мовчан С.И.</b>	Научно-производственная фирма «Флорекс», г. Мелитополь
<b>Мороз В.В.</b>	к.т.н., доцент, Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь, г. Брест
<b>Николенко И.В.</b>	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Ольшевский В.Я.</b>	к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
<b>Панухин П.В.</b>	кандидат архитектуры, профессор, Московский архитектурный институт (государственная академия), г. Москва
<b>Петров А.М.</b>	к.т.н., доцент, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского», г. Норильск
<b>Попов А.Н.</b>	старший преподаватель, Тюменский государственный университет, г. Тюмень
<b>Родин С.В.</b>	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Семенов С.Ю.</b>	доцент, Сочинский государственный университет, г. Сочи
<b>Скрябин А.Ю.</b>	к.т.н., Южно-Российский государственный политехнический университет, г. Новочеркасск
<b>Столяров О.Н.</b>	к.т.н., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
<b>Табунщик В.А.</b>	м.н.с., Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь
<b>Урецкий Е.А.</b>	начальник отраслевой научно-исследовательской лаборатории, Республиканское унитарное предприятие (РУП) Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ, Республика Беларусь», г. Витебск
<b>Федоркин С.И.</b>	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Циперко Л.Н.</b>	обучающийся, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Шаленный В.Т.</b>	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
<b>Ягьяев Э.Э.</b>	к.т.н., доцент, Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, г. Симферополь

## ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

**1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов**

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

*Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются!* Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

**1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи.** Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

**1.3. Прием пакета сопроводительных документов** осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru).

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru). Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

**Бланки сопроводительных документов и требования:**

**Информация об авторах статьи.** Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

**Бланк экспертного заключения и авторской справки** (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную))

**Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия** – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты [ger\\_bilenko@cfuv.ru](mailto:ger_bilenko@cfuv.ru) в сканированном виде (файл PDF).

## 2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

### Общие требования для подготовки статей

**Объем статьи**, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

**Шрифт**. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

**Параметры страницы**: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

**Таблицы**. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер B5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

**Рисунки и графики**. Рисунки и графики озаглавливаются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

**Формулы**. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

### Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject of research)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Выводы (Conclusions)**: шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть**. Статья должна содержать следующие разделы:
  - ВВЕДЕНИЕ;
  - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
  - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
  - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
  - ВЫВОДЫ;
  - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

### **Рекомендации по подготовке аннотации статьи**

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

### **Список литературы оформляется на русском и английском языках.**

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

*Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.*

### **Рекомендации по подготовке списка литературы**

• Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.

- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

#### **НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:**

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.