

Химия, физика и механика
материалов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выпуск 1(40), 2024

ISSN 2587-9006 (Print)
ISSN 2949-3722 (Online)

*ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»*

**ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА
МАТЕРИАЛОВ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
- ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Выпуск № 1 (40), 2024

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

Адрес учредителя и издателя: 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 77347 от 05.12.2019).

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. О.Б. Рудаков

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.Т. Перцев

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.А. Небольсин

Ответственный секретарь – канд. техн. наук, доц. О.Б. Кукина

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. О.В. Артамонова (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Д.Е. Барабаш (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р техн. наук, проф. Л.И. Бельчинская (г. Воронеж, ВГЛУ); д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р хим. наук, проф. А.Ю. Завражнов (г. Воронеж, ВГУ); д-р хим. наук, проф. А.Н. Зяблов (г. Воронеж, ВГУ); д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН В.М. Иевлев (г. Москва, МГУ); д-р хим. наук, проф. А.В. Калач (г. Воронеж, ВИ ФСИН); д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.Е. Калинин (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Козлов (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук Д.Н. Коротких (г. Москва, МГСУ); д-р геогр. наук, проф. С.А. Куролап (г. Воронеж, ВГУ); д-р техн. наук, проф. С.И. Лазарев (Тамбов, ТГТУ); д-р техн. наук, проф. Л.В. Моргун (г. Ростов-на-Дону, ДГТУ); д-р техн. наук, проф. С.Л. Подвальный (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. К.К. Полянский (г. Воронеж, ВФ РЭУ им. Г.В. Плеханова); д-р техн. наук, проф. Ю.В. Пухаренко (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ); д-р хим. наук, проф. А.М. Самойлов (г. Воронеж, ВГУ); д-р хим. наук, проф. В.Н. Семенов (г. Воронеж, ВГУ); д-р физ.-мат. наук, проф. О.В. Стогней (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. П.Т. Суханов (г. Воронеж, ВГУИТ); д-р техн. наук, проф. А.А. Трещев (г. Тула, ТулГУ); д-р техн. наук, проф. О.Л. Фиговский (Израиль, Глава Департамента по науке инновационного центра «Альянс народов мира», г. Хайфа); д-р техн. наук, доц. О.Н. Филимонова (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р биол. наук, проф. Н.Н. Харченко (г. Воронеж, ВГЛУ); д-р хим. наук, проф. Н.В. Шелехова (г. Москва, ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»); д-р техн. наук, проф. У.М. Турдалиев (Республика Узбекистан, АндМИ).

В издании публикуются результаты научных исследований и производственного опыта сотрудников ВГТУ и других образовательных, научных, научно-производственных организаций по проблемам химии, физики и механики строительных и технических материалов; химической технологии и физико-химических методов диагностики, контроля качества и безопасности материалов, применяющихся в строительстве и технике; по техносферной безопасности.

Издание рекомендуется специалистам по промышленному и гражданскому строительству, материаловедцам, технологам, инженерам, научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам архитектурно-строительных и технических учебных заведений.

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции.

Дизайн обложки Н.И. Мироненко

АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 6419

тел.: +7(473) 2369350, +7(473)2717617

E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru, lgkkn@ Rambler.ru

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Артамонова О.В.

Экспериментальные исследования формирования адгезионного соединения в системе «цементная матрица – армирующее волокно»: аналитический обзор..... 4

Усачев А.М., Рустамов А.В., Каламян И.С.

Исследования сцепления полимерного армирующего каната и закладных деталей в блоках гибких бетонных плит..... 25

Вострикова Г.Ю., Писарева И.А., Разуваева Е.Ю., Никулин С.С.

Зависимость выделения каучука из латекса от степени кислотности среды..... 36

Янготикала Ф.Л., Перцев В.Т., Леднев А.А.

Анализ минеральных ресурсов Демократической Республики Конго для получения высококачественных бетонов..... 43

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Винокурова И.М., Бородина В.С., Гребенщиков Н.Д., Букша С.Н.

Вопросы разработки методов защиты промышленной безопасности объекта машиностроительного производства..... 63

Борисова М.И., Баранова А.С., Букенина К.А., Складова Д.С.

Преимущества применения технологии замкнутого цикла в борьбе с сокращением объемов строительного мусора..... 82

ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ

Рудаков Я.О., Хорохордина Е.А., Распопова А.А., Хорохордин А.М., Рудаков О.Б.

Оценка свойств теплоизоляционного материала в процессе эксплуатации..... 103

УДК 666.9

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
АДГЕЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ В СИСТЕМЕ
«ЦЕМЕНТНАЯ МАТРИЦА – АРМИРУЮЩЕЕ ВОЛОКНО»:
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

О.В. Артамонова

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Артамонова Ольга Владимировна,*

E-mail: ol_artam@rambler.ru

В этой статье дается аналитический обзор научно-технической литературы по проблеме формирования адгезионного соединения на границе «цементная матрица – армирующее волокно». Рассмотрены общепринятые подходы к улучшению сцепления волокна с матрицей, основанные на различных механизмах сцепления: механическое зацепление, электростатическое притяжение, химическое взаимодействие. Обобщены основные методы для характеристики и описания межфазной переходной зоны сцепления между волокном и цементирующей матрицей.

Ключевые слова: цементные композиты, цементная матрица, армирующее волокно, адгезионное соединение, механизмы сцепления

**EXPERIMENTAL STUDIES OF FORMATION ADHESIVE CONNECTION
IN THE SYSTEM «CEMENT MATRIX – REINFORCING FIBER»:
ANALYTICAL REVIEW**

© Артамонова О.В., 2024

O.V. Artamonova

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84,

**Corresponding author: Artamonova Olga Vladimirovna,*

E-mail: ol_artam@rambler.ru

This article provides an analytical review of the scientific and technical literature on the problem of forming an adhesive joint at the «cement matrix – reinforcing fiber» boundary. Common approaches to improving the adhesion of fiber to matrix, based on various adhesion mechanisms, are considered: mechanical entanglement, electrostatic attraction, chemical interaction. The main methods for characterizing and describing the interfacial transition zone of adhesion between the fiber and the cementitious matrix are summarized.

Keywords: cement composites, cement matrix, reinforcing fiber, adhesive connection, adhesion mechanisms

Введение. Неармированные цементные композиты являются хрупким материалом как при сжатии, так и при растяжении, при этом он может быть подвержен внезапному разрушению при растяжении, показывая низкую устойчивость к растрескиванию. Трещины в бетонных конструкциях могут привести к проблемам различного вида коррозии, а это напрямую связано с долговечностью материала. В настоящее время разработана технология армирования цементных композитов волокнами, позволяющая отсрочить появление первой трещины и замедлить распространение трещин в бетоне, что приводит к улучшению механических характеристик композита, особенно прочности при растяжении [1 – 22]. При этом используют преимущества волокон, такие как высокая прочность на растяжение, высокая ударная вязкость и хорошие физико-механические эксплуатационные характеристики. Улучшение механических характеристик композита в основном обусловлено способностью волокна, преодолевать трещины в процессе вытягивания, что является основным механиз-

мом, способствующим высокой прочности цементного композита, т.е. сопротивление растягивающим нагрузкам происходит за счет совместного действия волокон и цементной матрицы [23, 24].

В цементных композитах граница между цементной матрицей и поверхностью армирующего волокна называется *межфазной переходной зоной сцепления* [25]. Эта область может рассматриваться как третья фаза, простирающаяся на несколько десятков микрон от поверхности волокна, и которая обладает физико-химическими свойствами, отличными как от армирующего волокна, так объемной цементной матрицы. На рис. 1 представлено схематическая структура *межфазной переходной зоны сцепления*, в рамках концепции формирования границы волокно – матрица, впервые предложенной Бентуром и соавторами [26].

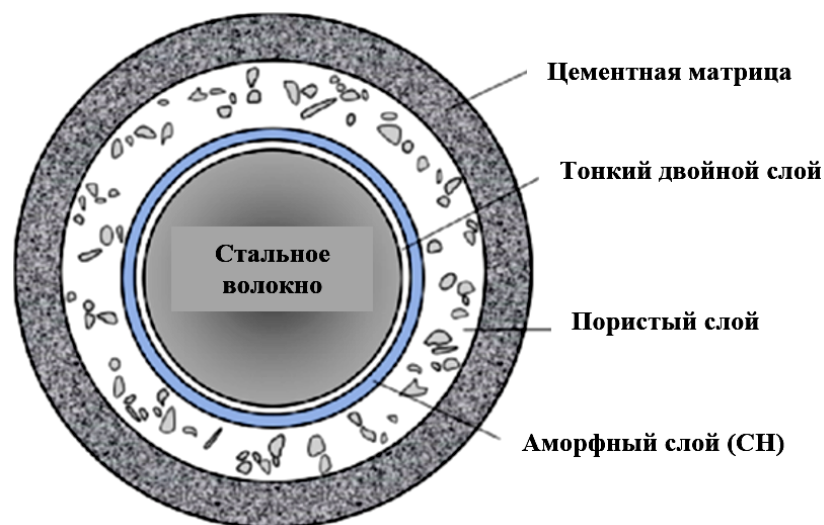


Рис. 1. Схематическое изображение компонентов межфазной переходной зоны сцепления между стальной фиброй и цементной матрицей

Хорошо известно [17, 27 – 29], что прочность сцепления на границе раздела «цементная матрица – армирующее волокно» оказывает большое влияние на механические характеристики цементного композита, при этом прочность композита при растрескивании в основном определяется прочностью цементной матрицы, а поведение композита после растрескивания независимо контролируется параметрами армирования волокном и сцеплением волокна с матри-

цей. В настоящее время показано, что межфазной переходной зоной сцепления формируется как наноструктура, которая влияя на поведение сцепления проявляет свои наноразмерные свойства, которые в итоге играют важную роль в определении механических характеристик цементных композитов [30, 31].

На прочность сцепления между цементной матрицей и волокном могут влиять различные факторы, которые можно разделить на две группы: связанные со свойствами матрицы и свойствами волокна. Прочность сцепления может быть увеличена при повышении прочности цементной матрицы [32, 33], что в современных условиях достигается путем модифицирования матрицы современными комплексными химическими добавками (например, зола-уноса, микро- и нанокремнезем, нанотрубки и др. типы микро- или нано-наполнителей). Они укрепляют поверхность раздела и улучшают реологические свойства смеси, непосредственно влияя на процессы гидратации цемента и структурообразования цементной матрицы.

С другой стороны, изучаются характеристики и свойства армирующих волокон, влияющих на прочность сцепления. Например, пиковая нагрузка на вырыв выше для стального волокна с крючковатым концом по сравнению с гладкими стальными волокнами [34]. Туян и др. [34] показали, что пиковая нагрузка на вырыв и прочность на отслаивание увеличиваются при увеличении длины заделки армирующего волокна. Угол наклона волокна также влияет на прочность сцепления, и наибольшая пиковая нагрузка при растяжении может быть достигнута при угле 30° или 45° [30, 35, 36]. Кроме того, [37] смачиваемость, геометрические особенности поверхности волокна, также играют важную роль в прочности сцепления, [38]. Особую роль играют при этом свойства поверхности волокна, поэтому быстро развиваются различные методы обработки поверхности волокна, такие как электрохимическое окисление, кислотное окисление, химическая прививка и плазменная обработка.

В меньшей мере представлены работы по исследованию свойств межфазной переходной зоны сцепления на границе «цементная матрица – волокно»,

понятно, что определение характеристик этой зоны является важной, но сложной задачей.

На сегодня разработано множество экспериментальных методов для измерения прочности сцепления между цементной матрицей и волокнами, включая как микро-, так и макро- методы [39 –43]. Часто используются тесты на вытягивание, сжатие, выталкивание, фрагментацию и микросклеивание. В ходе этих исследований определяются следующие свойства сцепления на границе раздела «цементная матрица – армирующее волокно», включая: прочность сцепления на границе раздела, вязкость на границе раздела, прочность на трение на границе раздела и остаточное напряжение зажима волокна. Кроме того, для исследования микроструктуры межфазной переходной зоной сцепления на границе «цементная матрица – волокно» применяются современные физико-химические методы исследования: сканирующая электронная микроскопия (SEM); электронная визуализация с обратным сканированием (BSEI); различные формы рентгеноструктурного анализа и томографии в сочетании с анализом изображений, в частности исследование шероховатости поверхности волокна; атомно-силовая микроскопия (АСМ); наноиндентирование с преобразованием Фурье в инфракрасном диапазоне (FTIR) и др.

Несмотря на то, что на сегодняшний день имеется большое количество обзорных статей, касающихся характеристик и применения различных типов армированных цементных композитов [44 –46], всестороннего обзора по исследованию свойств межфазной переходной зоной сцепления на границе «цементная матрица – волокно» не хватает. Таким образом, целью данной работы является обзор подходов к улучшению сцепления на границе «цементная матрица – армирующее волокно», основанные на различных механизмах сцепления, а также обобщение методов улучшения межфазного сцепления и методы для характеристики межфазной зоны сцепления. Лучшее понимание этих вопросов имеет решающее значение для дальнейшего развития получения высококачественных армированных цементных композитов.

Основные виды исследованных армированных композитов

Анализ научно-технической литературы [1 – 42] позволил установить, что для повышения прочностных характеристик цементных композитов применяются различные методы армирования, которые заключаются в размещении традиционных армирующих компонентов (стержни, сетки) различного химического состава и геометрии в слое матрицы. При этом исследования прочности сцепления на границе раздела «цементная матрица – армирующее волокно», можно условно разделить на два направления: 1) изучение влияния компонентного состава матрицы на прочность сцепления (регулирование условий смачивания матрицей поверхности волокон, т.е. улучшения реологических свойства матрицы в вязко-пластичном состоянии, путем введения химических добавок – модификаторов вязкости [9, 13 – 20]; повышение прочности матрицы за счет её многоуровневого армирования, например, введение полимерных микроволокон [5 – 8]); 2) изучение влияния вида и свойств армирующих компонентов (определение оптимальной геометрии армирующего компонента [1, 2, 20 – 22] и улучшение свойств поверхности армирующих волокон путем её химической модификации [3 – 12]).

В проведенных ранее многочисленных исследованиях [1 – 48] установлены оптимальные сочетания основных типов применяемых армирующих волокон и цементных матриц, предложены механизмы сцепления в соответствии с различными типами адгезии, методы повышения сцепления между волокном и матрицей, а также приведены количественные оценки увеличения сцепления на границе раздела «армирующее волокно – цементная матрица» (табл. 1).

Механизмы сцепления на границе

«цементная матрица – армирующее волокно»

Природа поведения сцепления (механизм сцепления) между цементной матрицей и волокнами можно рассматривать с позиций теории адгезии. Однако, в настоящее время, механизмы сцепления все еще однозначно не установлены. При этом факторами, влияющими на сцепление, являются: расположение

атомов, молекулярной конформацией и химическим составом матрицы и волокон; морфологическими характеристиками поверхности волокон; физико-химической способностью цементной матрицы и волокна к сцеплению на границе раздела.

Таблица 1

Основные типы исследованных волокон и цементных матриц

Тип волокна и матрицы	Определяемый механизм сцепления	Метод модифицирования волокна и матрицы	Увеличение сцепления на границе раздела	Авторы ссылка
1	2	3	4	5
Деформированное стальное волокно / цементная матрица (UHPC)	Механическое зацепление	Геометрическая модификация волокна	2.8–4.1	D.-Y. Yoo, S. Kim, J.-J. Kim, et al [1]
	Механическое зацепление	Геометрическая модификация волокна	1.8–4.1	H. Zhang, T. Ji, X. Lin [2]
Стальное волокно / цементная матрица (UHPC)	Химическое связывание	Обработка поверхности волокна наноматериалами	1.3	W. Meng, K.H. Khayat [10]
	Механическое зацепление	Обработка поверхности волокна кальцитом	2.5	Y. Hao, L. Cheng, H. Hao, et al [4]
Стальное волокно / цементная матрица (химически активный порошковый бетон (RPC))	Механическое зацепление	Улучшение цементующей матрицы	2.0	Z. Yunsheng, S. Wei, L. Sifeng, et al [14]
Стальная фибра, стальные профильные стержни, стальная арматура, стальная проволока / цементная матрица (мелко-зернистый бетон)	Механическое зацепление	Геометрическая модификация волокна	2.2 - 6.0	Ю.В. Пухaren-ко, Д.А. Пантелеев, etal [21]
	Механическое зацепление	Виброуплотнение цементной смеси	1.2 – 1.3	B. Baz, G. Aouad, et al [22]
	Механическое зацепление	Улучшение цементующей матрицы	1.4 (для арматуры); 1.8 (для проволоки)	L. Gebhard, L. Esposito, C. Menna, et al [16]
Стальная арматура / цементные растворы для 3D-печати	Механическое зацепление	Изменение геометрического профиля арматуры путем шлифования	1.1	L. Hass, F.P. Bos, T.A.M. Salet [17]

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Стальная арматура / цементная матрица (УНРС для 3D-печати)	Механическое зацепление	Укладка арматурных элементов производится путем их выдавливания из специального технологического приспособления на 3D-принтере одновременно с печатью основного слоя	1.6	G. Bai, L. Wang, F. Wang, et al [18]
Стальное волокно / цементная матрица (паста)	Механическое зацепление	Увеличение шероховатости волокна за счет шлифования	2.5	A. Antonova, M. Eik, J. Puttonen [15]
	Химическое связывание	Обработка волокна силановым связующим агентом (SCA)	1.6	A. Zhou, Z. Yu, H. Wei, et al [7]
	Механическое зацепление	Фосфатирование поверхности волокна	1.4	T. Sugama, N. Carciello, et al [3]
	Химическое и механическое зацепление	Плазменная обработка поверхности волокна	1.3	H.D. Miller, A. Akbarnezhad, et al [12]
	Механическое зацепление	Улучшение свойств цементирующей матрицы (введение минеральных добавок)	1.7–3.2	A. Beglarigale, H. Yazıcı [13]
Углеродные нанотрубки / цементная матрица (паста) Углеродное волокно / цементная матрица (мелкозернистый бетон)	Электро-статическое притяжение	Функционализация поверхности волокна химической группой	1.3	M. Azeem, M.A. Saleem [6]
	Химическое связывание	Модифицирование поверхности волокна наночастицами SiO ₂	3.0	M. Lu, H. Xiao, M. Liu, et al [9]
	Химическое и механическое зацепление	Плазменная обработка поверхности волокна	1.8–2	K. Schneider, M. Lieboldt, M. Liebscher [11]
Базальтовое волокно / цементная матрица	Химическое связывание	Структурирование цементной матрицы путем введения УНТ	-	К.А. Сарайкина, В.А. Голубев, Г.И. Яковлев [20]
Стекловолокно, базальтовые волокна / цементная матрица (раствор для строительной 3D-печати)	Механическое зацепление	Модификация цементной матрицы (использование морской воды и кораллового песка)	1.2 – 1.5	L.G. Li, B.F. Xiao, Z.Q. Fang, et al [19]

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Полиэтиленовое волокно / цементная матрица (мелкозернистый бетон)	Химическое связывание	Обработка поверхности волокна силановым связующим агентом (SCA)	1.6	T. Liu, R. Bai, Z. Chen, et al [8]
Кокосовое волокно / цементная матрица (мелкозернистый бетон)	Механическое зацепление	Обработка поверхности волокна химическими реагентами	2.8	M. Ali, X. Li, N. Chouw [5]

Примечание: Ultra-high-performance concrete (UHPC) – Сверхвысокопрочный бетон

На сегодняшний день разработано множество теорий, раскрывающих механизм межфазного сцепления, но пока нет обобщающей теории сцепления из-за сложности четко охарактеризовать зону взаимодействия цементной матрицы и волокна. Основные механизмы сцепления между волокном и цементирующей матрицей включают механическое зацепление (блокировку), электростатическое притяжение, химическое взаимодействие [47].

Электростатическое притяжение и химическое взаимодействие происходят на наноуровне границы раздела «цементная матрица – армирующие волокно», в то время как механическое зацепление формируется на поверхности контакта в масштабе от нескольких микрометров до миллиметра. В дополнение к основным механизмам могут быть задействованы силы межмолекулярного взаимодействия (водородные связи, силы Ван-дер-Ваальса). Как правило, при формировании прочности сцепления, один из механизмов является доминирующим, но чаще всего мы наблюдаем их комбинацию.

**Характеристики межфазной переходной зоны сцепления
«цементная матрица – армирующее волокно»: макромеханические
измерения и методы исследования микроструктуры
адгезионного соединения**

В работах [34 – 43] предложены различные методики определения прочности сцепления армирующего волокна с цементной матрицей. Макромеханические измерения специально разработанные для исследования прочности и

вязкости на границе раздела «армирующее волокно – матрица» позволяют оценить передачу нагрузки и разрушение в переходной зоне контакта. Наиболее часто используются методы на микровдавливание, фрагментацию и вытягивание.

В зависимости от способа добавления растягивающей нагрузки метод вытягивания можно разделить на два вида: одностороннее и двустороннее испытание. Учитывая количество волокон, которые выдерживают растягивающую нагрузку, испытания на вытягивание можно разделить на четыре типа: одностороннее испытание на одно волокно или на несколько волокон, двустороннее испытание на одно волокно или на несколько волокон. Различные подходы к вытягиванию волокон обобщены в работе [43 – 45]. В табл. 2 представлены основные параметры оценки по результатам теста на вытягивание.

Таблица 2

Основные параметры оценки по результатам теста на вытягивание

Механический параметр	Расчетная формула
Средняя прочность сцепления (τ_a)	$\tau_a = \frac{F_{max}}{\pi \cdot d_f \cdot L_g} \text{ (МПа)}$
Энергия вытягивания (W_p)	$W_p = \int_0^{L_g} F \cdot d_s \text{ (Н} \cdot \text{мм)}$
Эквивалентная прочность сцепления (τ_e)	$\tau_e = \frac{2 \cdot W_p}{\pi \cdot d_f \cdot L_g} \text{ (МПа)}$
Максимальное напряжение волокна (σ_{max})	$\sigma_{max} = \frac{4 \cdot F_{max}}{\pi \cdot d_f^2} \text{ (МПа)}$
Коэффициент использования волокна	σ_{max} / f_t

Примечание: F_{max} – максимальная нагрузка на вытягивание (Н), d_f – диаметр отдельного волокна (мм), L_e – длина заделки волокна (мм), F – нагрузка на вытягивание (МПа), f_t – прочность волокна на растяжение (МПа).

Благодаря преимуществам простоты и высокой эффективности, односторонний тест на одно волокно является наиболее используемым методом, который получил наибольшее развитие и усовершенствование за последние годы.

Получение информации о распределении химического состава, шероховатость, глубины и структуры межфазной переходной зоной сцепления на границе раздела «цементная матрица – волокно» является основной целью физико-

химических измерений. Обычно используемые методы определения характеристик поверхности раздела между цементирующей матрицей и волокном включают инфракрасную спектроскопию с преобразованием Фурье (FTIR), рентгеновскую компьютерную томографию (ХСТ) в сочетании с анализом изображений с различным разрешением на предмет пористости и химического состава, атомно-силовую микроскопию (AFM), спектроскопию ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и сканирующую электронную микроскопию (SEM) в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией (EDS). У каждого из этих методов есть свое специфическое применение, а также ограничения, так что исчерпывающая информация о микроструктуре межфазной переходной зоны сцепления на границе раздела «цементная матрица – волокно» не может быть получена одним методом, и для анализа образца обычно используются два или более метода вместе. SEM является наиболее популярным методом для характеристики межфазной переходной зоны сцепления на границе раздела «цементная матрица – волокно» в цементных композитах. Данный метод позволяет визуально оценить протяженность и особенности зоны контакта цементной матрицы с волокном.

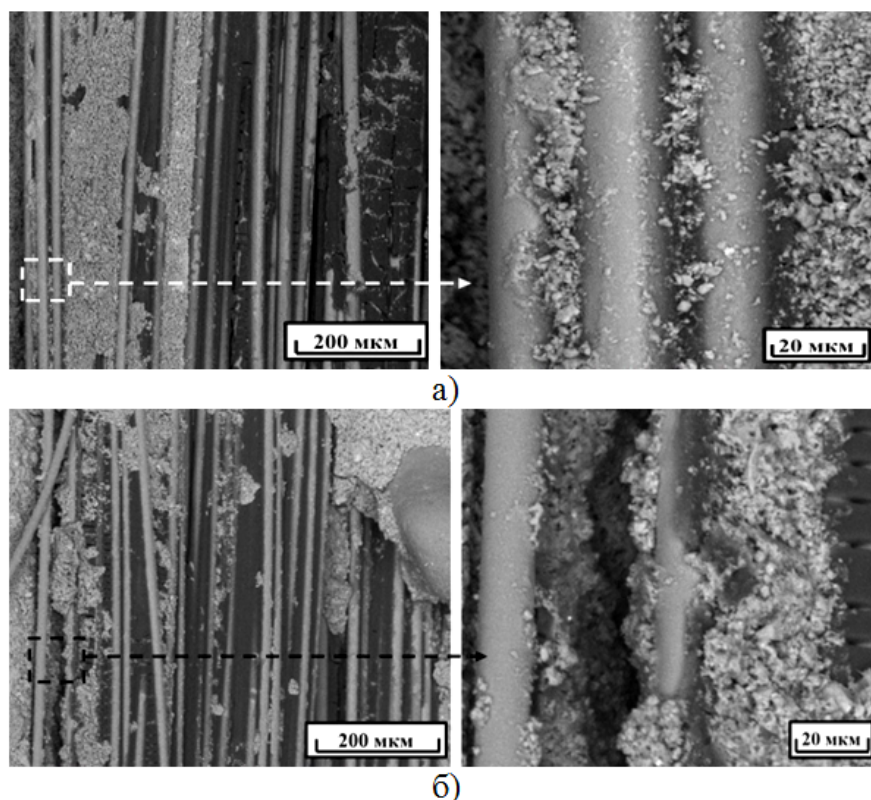


Рис. 2. Микрофотографии пучка стекловолокна после вырыва (по данным СЭМ):
а) микрозернистая цементная матрица; б) микрозернистая цементная матрица

Заключение. Таким образом, использование армирующих волокон (подходящих типов волокон и дозировок) играет решающую роль в улучшении механических характеристик цементных композитов, т.к. эффект взаимодействия волокна на поверхности трещин обеспечивает значительную остаточную прочность бетона, армированного волокнами. При этом граница раздела «цементная матрица – армирующее волокно» является важным параметром, определяющим прочность композита, влияя на способность передавать напряжение между волокном и цементной матрицей.

Список литературы

1. Yoo D.-Y., Kim S., Kim J.-J., Chun B. An experimental study on pullout and tensile behavior of ultra-high-performance concrete reinforced with various steel fibers // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 206. Pp. 46–61.
2. Zhang H., Ji T., Lin X. Pullout behavior of steel fibers with different shapes from ultra-high performance concrete (UHPC) prepared with granite powder under different curing conditions // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 211. Pp. 688–702.
3. Sugama T., Carciello N., Kukacka L., Gray G. Interface between zinc phosphatedeposited steel fibres and cement paste // *Journal of Materials Science*. 1992. V. 27. Pp. 2863–2872.
4. Hao Y., Cheng L., Hao H., Shahin M.A. Enhancing fiber/matrix bonding in polypropylene fiber reinforced cementitious composites by microbially induced calcite precipitation pre-treatment // *Cement and Concrete Composites*. 2018. V. 88. Pp. 1–7.
5. Ali M., Li X., Chouw N. Experimental investigations on bond strength between coconut fibre and concrete // *Materials and Design*. 2013. V. 44. Pp. 596–605.
6. Azeem M., Saleem M.A. Role of electrostatic potential energy in carbon nanotube augmented cement paste matrix // *Construction and Building Materials*. 2020. V. 239. Pp. 117875.

7. Zhou A., Yu Z., Wei H., et al. Understanding the toughening mechanism of silane coupling agents in the interfacial bonding in steel fiberreinforced cementitious composites //ACS Applied Materials and Interfaces. 2020. V. 12. Pp. 44163–44171.
8. Liu T., Bai R., Chen Z., et al. Tailoring of polyethylene fiber surface by coating silane coupling agent for strain hardening cementitious composite // Construction and Building Materials. 2021. V. 278. Pp. 122263.
9. Lu M., Xiao H., Liu M., et al. Improved interfacial strength of SiO₂ coated carbon fiber in cement matrix //Cement and Concrete Composites. 2018. V. 91. Pp. 21–28.
10. Meng W., Khayat K.H. Mechanical properties of ultra-high-performance concrete enhanced with graphite nanoplatelets and carbon nanofibers //Composites Part B Engineering. 2016. V. 107. Pp. 113–122.
11. Schneider K., Lieboldt M., Liebscher M., et al. Mineral-based coating of plasma-treated carbon fiber rovings for carbon concrete composites with enhanced mechanical performance // Materials. 2017. V. 10. Pp. 360.
12. Miller H.D., Akbarnezhad A., Mesgari S., Foster S.J. Performance of oxygen/ argon plasma-treated steel fibres in cement mortar //Cement and Concrete Composites. 2019. V. 97. Pp. 24–32.
13. Beglarigale A., Yazici H., Pull-out behavior of steel fiber embedded in flowable RPC and ordinary mortar //Construction and Building Materials. 2015. V. 75. Pp. 255–265.
14. Yunsheng Z., Wei S., Sifeng L., et al. Preparation of C200 green reactive powder concrete and its static–dynamic behaviors //Cement and Concrete Composites. 2008. V. 30. Pp. 831–838.
15. Antonova A., Eik M., Puttonen J. Phase contrast tomography to study near-field effects of polypropylene fibres on hardened cement paste //Cement and Concrete Composites. 2020. V. 114. Pp. 103800.
16. Gebhard L., Esposito L., Menna C., Mata-Falcón J. Inter-laboratory study on the influence of 3D concrete printing set-ups on the bond behaviour of various reinforcements //Cement and Concrete Composites. 2022. V. 133. Pp. 104660.

17. Hass L., Bos F.P., Salet T.A.M. Characterizing the bond properties of automatically placed helical reinforcement in 3D printed concrete // *Construction and Building Materials*. 2022. V. 355. Pp.129228.
18. Bai G., Wang L., Wang F., Ma G. Inprocess reinforcing method: dual 3D printing procedure for ultra-high performance concrete reinforced cementitious composites // *Materials Letters*. 2021. V. 304. Pp. 130594.
19. Li L.G., Xiao B.F., Fang Z.Q., et al. Feasibility of glass/basalt fiber reinforced seawater coral sand mortar for 3D printing // *Additive Manufacturing*. 2021. V. 37. Pp.101684.
20. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И. Структурирование цементного камня по поверхности армирующих базальтовых волокон // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2014. Т. 2 (24). С. 203–207.
21. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Влияние вида фибры и состава матрицы на их сцепление в фибробетоне // *Вестник СибАДИ*. 2022. Т. 19 (3). С.436–445.
22. Baz F., Aouad G., Leblond P., et al. Mechanical assessment of concrete – Steel bonding in 3D printed elements // *Construction and Building Materials*. 2020. V. 256. Pp. 119457.
23. Amin A., Gilbert R.I. Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams-Part II: Strength, Ductility and Design // *ACI Structural Journal*. 2019. V. 116. Pp. 113–123.
24. Lee S., Park Y., Abolmaali A. Investigation of flexural toughness for steel- and synthetic-fiber-reinforced concrete pipes, structures // *Structures*. 2019. V. 19. Pp. 203 – 211.
25. Cao Y., Gehlen C., Angst U., et al. Yao, Critical chloride content in reinforced concrete—An updated review considering Chinese experience // *Cement and Concrete Research*. 2019. V. 117. Pp. 58–68.
26. Bentur A., Mindess S. Fibre reinforced cementitious composites. CRC Press, 2006. 585 p.
27. Zhou A., Qiu Q., Chow C.L., Lau D. Interfacial performance of aramid, basalt and carbon fiber reinforced polymer bonded concrete exposed to high temperature // *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2020. V.131. Pp. 105802.

28. Maage M. Steel fiber bond strengths in cement-based matrixes influenced by surface treatments // *Cement and Concrete Research*. 1977. V. 7. Pp. 703–709.
29. Xu L., Deng F., Chi Y. Nano-mechanical behavior of the interfacial transition zone between steel-polypropylene fiber and cement paste // *Construction and Building Materials*. 2017. V. 145. Pp. 619–638.
30. Lee Y., Kang S.-T., Kim J.-K. Pullout behavior of inclined steel fiber in an ultrahigh strength cementitious matrix // *Construction and Building Materials*. 2010. V.24. Pp. 2030–2041.
31. Kim J.-K., Mai Y.-W. Engineered interfaces in fiber reinforced composites // *Materials Today*. 1999. V. 2(1). Pp. 12 – 22.
32. Pi Z., Xiao H., Du J., et al. Interfacial microstructure and bond strength of nano-SiO₂-coated steel fibers in cement matrix // *Cement and Concrete Composites*. 2019. V. 103. Pp. 1–10.
33. Feng J., Yang F., Qian S. Improving the bond between polypropylene fiber and cement matrix by nano calcium carbonate modification // *Construction and Building Materials*. 2021. V. 269. Pp. 121249.
34. Tuyan M., Yazici H. Pull-out behavior of single steel fiber from SIFCON matrix // *Construction and Building Materials*. 2012. V. 35. Pp. 571–577.
35. Shannag M.J., Brincker R., Hansen W. Pullout behavior of steel fibers from cement-based composites // *Cement and Concrete Research*. 1997. V. 27. Pp. 925–936.
36. Silva F.d.A., Mobasher B., Soranakom C., et al. Effect of fiber shape and morphology on interfacial bond and cracking behaviors of sisal fiber cement based composites // *Cement and Concrete Composites*. 2011. V. 33. Pp. 814–823.
37. Silva F., Thaumaturgo C. Fibre reinforcement and fracture response in geopolymeric mortars // *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2003. V. 26. Pp. 167–172.
38. Vautard F., Ozcan S., Meyer H. Properties of thermo-chemically surface treated carbon fibers and of their epoxy and vinyl ester composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2012. V. 43. Pp. 1120–1133.

39. Naslain R.R. The design of the fibre-matrix interfacial zone in ceramic matrix composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1998. V. 29. Pp. 1145–1155.
40. Bertrand S., Pailler R., Lamon J. SiC/SiC minicomposites with nanoscale multilayered fibre coatings // *Composites Science and Technology*. 2001. V. 61. Pp. 363–367.
41. Thouless M.D., Evans A.G. Effects of pull-out on the mechanical properties of ceramic-matrix composites // *Acta Metallurgica*. 1988. V. 36. Pp. 517–522.
42. Marshall D.B., Evans A.G. Failure mechanisms in ceramic-fiber/ceramic-matrix composites // *Journal of the American Ceramic Society*. 1985. V. 68. Pp. 225–231.
43. Keusch S., Queck H., Gliesche K. Influence of glass fibre/epoxy resin interface on static mechanical properties of unidirectional composites and on fatigue performance of cross ply composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1998. V. 29. Pp. 701–705.
44. Khayat K.H., Meng W., Vallurupalli K., Teng L. Rheological properties of ultrahigh-performance concrete – An overview // *Cement and Concrete Research*. 2019. V. 124. Pp. 105828.
45. Wu H., Lin X., Zhou A. A review of mechanical properties of fibre reinforced concrete at elevated temperatures // *Cement and Concrete Research*. 2020. V. 135. Pp. 106117.
46. Wen C., Zhang P., Wang J., Hu S. Influence of fibers on the mechanical properties and durability of ultra-high-performance concrete: A review // *Journal of Building Engineering*. 2022. V. 52. Pp. 104370.
47. Kim J.-K., Mai Y.-W., Mai Y.-W. Interface mechanics and fracture toughness theories // *Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites*. 1998. Pp. 239–277.
48. Slavcheva G., Artamonova O., Kotova K., Shvedova M.A., Yurov P.Yu. Pull-out behaviour of steel and carbon fibers in 3D-printable cement matrices of various compositions // *Construction and Building Materials*. 2024. V. 411. P. 134784.

References

1. Yoo D.-Y., Kim S., Kim J.-J., Chun B. An experimental study on pullout and tensile behavior of ultra-high-performance concrete reinforced with various steel fibers // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 206. Pp. 46–61.
2. Zhang H., Ji T., Lin X. Pullout behavior of steel fibers with different shapes from ultra-high performance concrete (UHPC) prepared with granite powder under different curing conditions // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 211. Pp. 688–702.
3. Sugama T., Carciello N., Kukacka L., Gray G. Interface between zinc phosphatedeposited steel fibres and cement paste // *Journal of Materials Science*. 1992. V. 27. Pp. 2863–2872.
4. Hao Y., Cheng L., Hao H., Shahin M.A. Enhancing fiber/matrix bonding in polypropylene fiber reinforced cementitious composites by microbially induced calcite precipitation pre-treatment // *Cement and Concrete Composites*. 2018. V. 88. Pp. 1–7.
5. Ali M., Li X., Chou N. Experimental investigations on bond strength between coconut fibre and concrete // *Materials and Design*. 2013. V. 44. Pp. 596–605.
6. Azeem M., Saleem M.A. Role of electrostatic potential energy in carbon nanotube augmented cement paste matrix // *Construction and Building Materials*. 2020. V. 239. Pp. 117875.
7. Zhou A., Yu Z., Wei H., et al. Understanding the toughening mechanism of silane coupling agents in the interfacial bonding in steel fiberreinforced cementitious composites // *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2020. V. 12. Pp. 44163–44171.
8. Liu T., Bai R., Chen Z., et al. Tailoring of polyethylene fiber surface by coating silane coupling agent for strain hardening cementitious composite // *Construction and Building Materials*. 2021. V. 278. Pp. 122263.
9. Lu M., Xiao H., Liu M., et al. Improved interfacial strength of SiO₂ coated carbon fiber in cement matrix // *Cement and Concrete Composites*. 2018. V. 91. Pp. 21–28.

10. Meng W., Khayat K.H. Mechanical properties of ultra-high-performance concrete enhanced with graphite nanoplatelets and carbon nanofibers //Composites Part B Engineering. 2016. V. 107. Pp. 113–122.
11. Schneider K., Lieboldt M., Liebscher M., et al. Mineral-based coating of plasma-treated carbon fiber rovings for carbon concrete composites with enhanced mechanical performance // Materials. 2017. V. 10. Pp. 360.
12. Miller H.D., Akbarnezhad A., Mesgari S., Foster S.J. Performance of oxygen/ argon plasma-treated steel fibres in cement mortar //Cement and Concrete Composites. 2019. V. 97. Pp. 24–32.
13. Beglarigale A., Yazici H., Pull-out behavior of steel fiber embedded in flowable RPC and ordinary mortar //Construction and Building Materials. 2015. V. 75. Pp. 255–265.
14. Yunsheng Z., Wei S., Sifeng L., et al. Preparation of C200 green reactive powder concrete and its static–dynamic behaviors //Cement and Concrete Composites. 2008. V. 30. Pp. 831–838.
15. Antonova A., Eik M., Puttonen J. Phase contrast tomography to study near-field effects of polypropylene fibres on hardened cement paste //Cement and Concrete Composites. 2020. V. 114. Pp. 103800.
16. Gebhard L., Esposito L., Menna C., Mata-Falcón J. Inter-laboratory study on the influence of 3D concrete printing set-ups on the bond behaviour of various reinforcements //Cement and Concrete Composites. 2022. V. 133. Pp. 104660.
17. Hass L., Bos F.P., Salet T.A.M. Characterizing the bond properties of automatically placed helical reinforcement in 3D printed concrete //Construction and Building Materials. 2022. V. 355. Pp.129228.
18. Bai G., Wang L., Wang F., Ma G. Inprocess reinforcing method: dual 3D printing procedure for ultra-high performance concrete reinforced cementitious composites //Materials Letters. 2021. V. 304. Pp. 130594.
19. Li L.G., Xiao B.F., Fang Z.Q., et al. Feasibility of glass/basalt fiber reinforced seawater coral sand mortar for 3D printing //Additive Manufacturing. 2021. V. 37. Pp.101684.

20. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И. Структурирование цементного камня по поверхности армирующих базальтовых волокон // Интеллектуальные системы в производстве. 2014. Т. 2 (24). С. 203–207.
21. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Влияние вида фибры и состава матрицы на их сцепление в фибробетоне // Вестник СибАДИ. 2022. Т. 19 (3). С. 436–445.
22. Baz F., Aouad G., Leblond P., et al. Mechanical assessment of concrete – Steel bonding in 3D printed elements // Construction and Building Materials. 2020. V. 256. Pp. 119457.
23. Amin A., Gilbert R.I. Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams-Part II: Strength, Ductility and Design // ACI Structural Journal. 2019. V. 116. Pp. 113–123.
24. Lee S., Park Y., Abolmaali A. Investigation of flexural toughness for steel- and synthetic-fiber-reinforced concrete pipes, structures // Structures. 2019. V. 19. Pp. 203 – 211.
25. Cao Y., Gehlen C., Angst U., et al. Yao, Critical chloride content in reinforced concrete—An updated review considering Chinese experience // Cement and Concrete Research. 2019. V. 117. Pp. 58–68.
26. Bentur A., Mindess S. Fibre reinforced cementitious composites. CRC Press, 2006. 585 p.
27. Zhou A., Qiu Q., Chow C.L., Lau D. Interfacial performance of aramid, basalt and carbon fiber reinforced polymer bonded concrete exposed to high temperature // Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. 2020. V. 131. Pp. 105802.
28. Maage M. Steel fiber bond strengths in cement-based matrixes influenced by surface treatments // Cement and Concrete Research. 1977. V. 7. Pp. 703–709.
29. Xu L., Deng F., Chi Y. Nano-mechanical behavior of the interfacial transition zone between steel-polypropylene fiber and cement paste // Construction and Building Materials. 2017. V. 145. Pp. 619–638.

30. Lee Y., Kang S.-T., Kim J.-K. Pullout behavior of inclined steel fiber in an ultrahigh strength cementitious matrix // *Construction and Building Materials*. 2010. V.24. Pp. 2030–2041.
31. Kim J.-K., Mai Y.-W. Engineered interfaces in fiber reinforced composites // *Materials Today*. 1999. V. 2(1). Pp. 12 – 22.
32. Pi Z., Xiao H., Du J., et al. Interfacial microstructure and bond strength of nano-SiO₂-coated steel fibers in cement matrix // *Cement and Concrete Composites*. 2019. V. 103. Pp. 1–10.
33. Feng J., Yang F., Qian S. Improving the bond between polypropylene fiber and cement matrix by nano calcium carbonate modification // *Construction and Building Materials*. 2021. V. 269. Pp. 121249.
34. Tuyan M., Yazici H. Pull-out behavior of single steel fiber from SIFCON matrix // *Construction and Building Materials*. 2012. V. 35. Pp. 571–577.
35. Shannag M.J., Brincker R., Hansen W. Pullout behavior of steel fibers from cement-based composites // *Cement and Concrete Research*. 1997. V. 27. Pp. 925–936.
36. Silva F.d.A., Mobasher B., Soranakom C., et al. Effect of fiber shape and morphology on interfacial bond and cracking behaviors of sisal fiber cement based composites // *Cement and Concrete Composites*. 2011. V. 33. Pp. 814–823.
37. Silva F., Thaumaturgo C. Fibre reinforcement and fracture response in geopolymeric mortars // *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2003. V. 26. Pp. 167–172.
38. Vautard F., Ozcan S., Meyer H. Properties of thermo-chemically surface treated carbon fibers and of their epoxy and vinyl ester composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2012. V. 43. Pp. 1120–1133.
39. Naslain R.R. The design of the fibre-matrix interfacial zone in ceramic matrix composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1998. V. 29. Pp. 1145–1155.
40. Bertrand S., Pailler R., Lamon J. SiC/SiC minicomposites with nanoscale multilayered fibre coatings // *Composites Science and Technology*. 2001. V. 61. Pp. 363–367.

41. Thouless M.D., Evans A.G. Effects of pull-out on the mechanical properties of ceramic-matrix composites // *Acta Metallurgica*. 1988. V. 36. Pp. 517–522.
42. Marshall D.B., Evans A.G. Failure mechanisms in ceramic-fiber/ceramic-matrix composites // *Journal of the American Ceramic Society*. 1985. V. 68. Pp. 225–231.
43. Keusch S., Queck H., Gliesche K. Influence of glass fibre/epoxy resin interface on static mechanical properties of unidirectional composites and on fatigue performance of cross ply composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1998. V. 29. Pp. 701–705.
44. Khayat K.H., Meng W., Vallurupalli K., Teng L. Rheological properties of ultrahigh-performance concrete – An overview // *Cement and Concrete Research*. 2019. V. 124. Pp. 105828.
45. Wu H., Lin X., Zhou A. A review of mechanical properties of fibre reinforced concrete at elevated temperatures // *Cement and Concrete Research*. 2020. V. 135. Pp. 106117.
46. Wen C., Zhang P., Wang J., Hu S. Influence of fibers on the mechanical properties and durability of ultra-high-performance concrete: A review // *Journal of Building Engineering*. 2022. V. 52. Pp. 104370.
47. Kim J.-K., Mai Y.-W., Mai Y.-W. Interface mechanics and fracture toughness theories // *Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites*. 1998. Pp. 239–277.
48. Slavcheva G., Artamonova O., Kotova K., Shvedova M.A., Yurov P.Yu. Pull-out behaviour of steel and carbon fibers in 3D-printable cement matrices of various compositions // *Construction and Building Materials*. 2024. V. 411. P. 134784.

Артамонова Ольга Владимировна – д-р техн. наук, профессор кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного университета

УДК 691.32

**ИССЛЕДОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО АРМИРУЮЩЕГО
КАНАТА И ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЕЙ
В БЛОКАХ ГИБКИХ БЕТОННЫХ ПЛИТ**

А.М. Усачев, А.В. Рустамов, И.С. Каламян*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Усачев Александр Михайлович,*

E-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru

В статье рассмотрены особенности конструкции и области применения гибких бетонных плит. Данные плиты могут быть применены для покрытий берегов, укрепления откосов, защиты трубопроводов и опор мостов, благоустройства территорий и др. Авторами предложен усовершенствованный образец гибкой бетонной плиты, позволяющий значительно упростить технологию укладки, сократить сроки строительно-монтажных работ на объекте, а также обеспечить быструю замену одной плиты на другую в случае повреждения. Усовершенствование достигается, в первую очередь, за счет конструктивной особенности плиты, заключающейся в том, что ширина ее всегда равна $1/2$ длины, что позволяет укладывать плиты в любом порядке. Вторым новшеством является то, что плита соединяется с соседними плитами при помощи специальных узлов крепления, выполненных в виде металлических пластин с отверстиями. При монтаже плит закладные пластины накладываются одна на другую, после чего стягиваются болтовым соединением. Проведены сравнительные экспериментальные исследования прочности сцепления блоков плиты полипропиленовым и полиамидным канатами диаметром 16 мм. Также выполнены исследования степени сцепления стальной закладной пластины с бетонным блоком.

Ключевые слова: гибкие бетонные плиты, защита, укрепление, закладная пластина, скорость монтажа, армирующие полимерный канат, степень сцепления

© Усачев А.М., Рустамов А.В., Каламян И.С., 2024

**STUDIES OF THE ADHESION OF POLYMER REINFORCING ROPE AND
EMBEDDED PARTS IN BLOCKS OF FLEXIBLE CONCRETE SLABS**

A.M. Usachev, A.V. Rustamov, I.S. Kalamyan*

*Voronezh State Technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84,*

**Corresponding author: Alexander M. Usachev, E-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru*

The article discusses the design features and applications of flexible concrete slabs. These plates can be used to cover coasts, strengthen slopes, protect pipelines and bridge supports, improve territories, etc. The authors have proposed an improved sample of a flexible concrete slab, which significantly simplifies the laying technology, reduces the time of construction and installation work at the facility, and also ensures quick replacement of one slab with another in case of damage. The improvement is achieved primarily due to the design feature of the plate, which consists in the fact that its width is always 1/2 of the length, which allows the plates to be laid in any order. The second innovation is that the plate is connected to neighboring plates using special attachment points made in the form of metal plates with holes. When installing the plates, the embedded plates are superimposed on each other, after which they are tightened with a bolted connection. Comparative experimental studies of the adhesion strength of plate blocks with polypropylene and polyamide ropes with a diameter of 16 mm have been carried out. Studies have also been carried out on the degree of adhesion of the steel embedded plate to the concrete block.

Keywords: flexible concrete slabs, protection, reinforcement, embedded plate, installation speed, reinforcing polymer rope, degree of adhesion

Введение. Гибкие бетонные плиты (ГБП) – сборные конструкции, состоящие из бетонных блоков, соединенных гибким армирующим канатом, предназначенные для сооружения защитных поверхностей на большой площади различных объектов как естественного, так и искусственного происхождения (рис. 1). ГБП могут быть применены для покрытий берегов водотоков и водоемов;

укрепления откосов дорожных насыпей и железнодорожных путей; укрепления откосов защитных и регуляционных сооружений; для защиты подводных переходов трубопроводов; защиты дна акваторий портов и опор мостов; дополнительной защиты кабельных трасс, прокладываемых через водные преграды; сооружения временных противопаводковых укреплений; защиты гребней плотин и дамб от размыва при переливе; сооружении каналов, канав и стоков; защиты дна отстойников, а также для прокладки временного дорожного полотна в условиях зыбких и заболоченных мест; устройства междупутья трамвайных дорог; благоустройства территорий и др. [1].



Рис. 1. Защитные сооружения на основе гибких бетонных плит

Данные плиты выпускаются несколькими организациями в РФ (ООО «Микрон», ООО «Спецпром-1», ООО «Транснабстрой») и широко применяются в строительной практике. Авторами статьи предложен усовершенствованный образец ГБП, позволяющий значительно упростить технологию укладки и со-

кратить сроки строительного-монтажных работ на объекте, а также обеспечить быструю замену одной плиты на другую в случае повреждения [2]. Усовершенствование сводится к двум техническим новшествам.

Во-первых, улучшенная гибкая бетонная плита, имеет конструктивную особенность, заключающуюся в том, что ширина ее всегда равна $1/2$ длины. Например, шесть блоков в длину и три в ширину или восемь блоков в длину и четыре в ширину и т.п. (рис. 2). Это позволяет укладывать плиты на объекте в любом порядке, что значительно увеличивает скорость строительных работ, а также положительно сказывается на распределительной нагрузке в проектом положении (рис. 3).

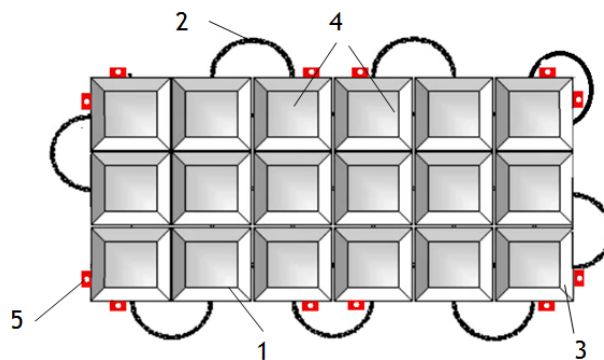


Рис. 2. Внешний вид гибкой бетонной плиты (ГБП), состоящей из 6×3 блоков:
1 – бетонные блоки; 2 – синтетический канат; 3 – угловые блоки;
4 – средние блоки; 5 – закладные металлические детали

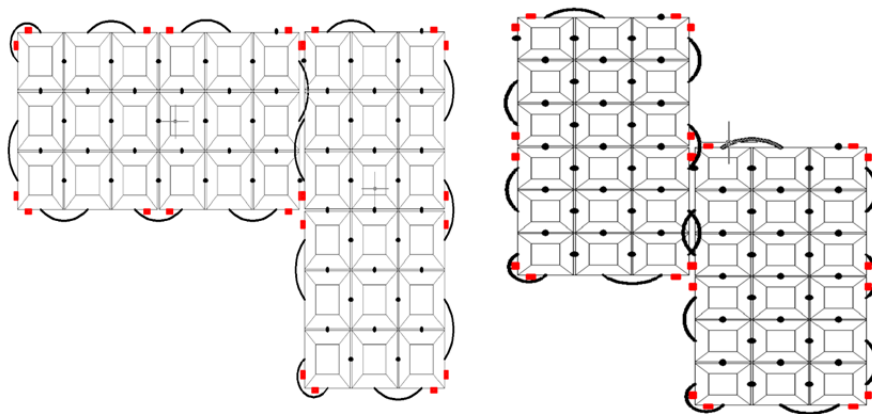


Рис. 3. Варианты крепления гибких бетонных плит между собой

Вторым новшеством является то, что гибкая бетонная плита соединяется с соседними плитами при помощи специальных узлов крепления выполненных

в виде металлических пластин с отверстиями, расположенных на угловых и средних блоках плиты (см. рис. 2). При монтаже плит закладные пластины накладываются одна на другую, после чего стягиваются болтовым соединением с контрагающим эффектом (рис. 4).

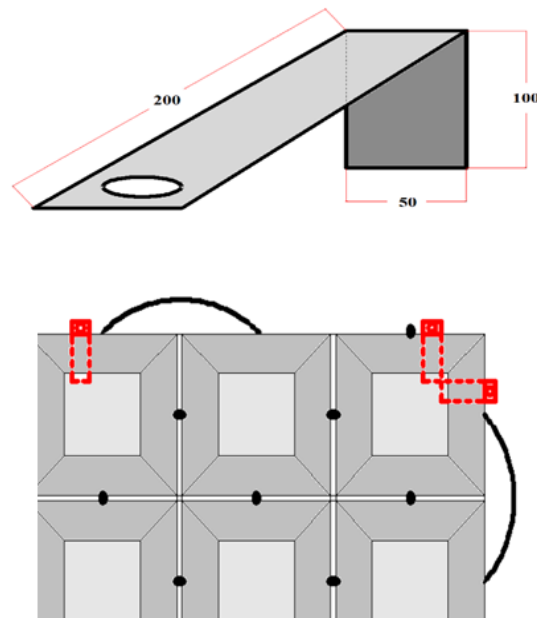


Рис. 4. Внешний вид закладной пластины и ее расположение на угловых и средних блоках в ГБП

Таким образом, соединенные между собой плиты работают совместно по принципу гибкого экрана, позволяя укрепить верхний слой откоса или береговой зоны, не допуская обрушения, размывов и оползания грунта [2].

Преимуществами усовершенствованной гибкой бетонной плиты являются:

- улучшенные технико-экономические показатели, заключающиеся в отсутствии дополнительных затрат в механизированном и технологическом процессах;
- простота крепления с помощью болтового соединения значительно уменьшает трудозатраты;
- данные крепления позволяют соединять и монтировать плиты под водой без каких-либо дополнительных технических и инженерных средств;
- ремонтпригодность, позволяющая быстро осуществлять демонтаж и монтаж одной плиты из всего полотна (табл. 1).

Конкурентоспособность усовершенствованной ГБП

Наименование	Сравнительные характеристики	
	Конкурентный аналог	Данная ГБП
Материал	Тяжелый бетон (В30F200-F300 W8)	
Способ соединения	С помощью сварки, соединительных скоб или путем связки	Путем болтового соединения
Монтаж	В строго определенном порядке	Допускается как в последовательном, так и в шахматном порядке, со смещением
Оборудование для монтажа	1. Сварочное оборудование (сварщик + монтажник); 2. Ручной гидравлический пресс; 3. Специальные технические условия работы	1. Аккумуляторный гайковерт
Возможности импортозамещение	С применением импортных материалов	Только отечественные комплектующие
Технико-экономические показатели	100 м ² – 1 261 417 руб.	100 м ² – 805 112 руб. Экономия до 40 % сметной стоимости. Увеличение производительности на 60 %.

Таким образом, применение улучшенной ГБП позволит значительно сократить трудозатраты при монтаже плит, а также в случае их замены, приведет к повышению однородности механических свойств гибкого защитного полотна из бетонных матов и повысит надежность и долговечность укрепленной поверхности, позволит повысить общие технико-экономические показатели.

Экспериментальная часть

Целью данной работы является определение степени сцепления полимерного армирующего каната с телом бетонного блока ГБП, а также надежности соединения предложенной закладной пластины. Данные исследования проводились в Центре коллективного пользования имени проф. Ю.М. Борисова в Воронежском государственном техническом университете благодаря оснащению его современным исследовательским и испытательным оборудованием.

Основные требования к синтетическому канату приведены в ГОСТ 30055 [3]. Для объединения бетонных блоков в единую гибкую конструкцию, а так же для соединительных и строповочных петель, следует применять канаты крученые из полимерных материалов. Материал каната должен быть устойчив к ультрафиолетовому излучению.

Для изготовления гибких бетонных плит обычно используется два отрезка каната длиной по 9 м. Принцип укладки армирующего каната (показан на рис. 5) сводится к следующему:

- фиксация первого отрезка каната в крайнем угловом блоке путем зажимного приспособления, прокладка его по длинной стороне плиты и фиксация зажимом на противоположном крайнем блоке;
- второй отрезок каната также как и в первом случае в начале и конце фиксируем в зажимном устройстве, прокладывается по ширине плиты, таким образом, чтобы каждый блок имел пересечение двух канатов крест на крест;
- натяжение канатаручным способом с усилием равным 10...15 кг;
- заливка бетонной смесью, уплотнение и твердение;
- распалубка изделия, срезание лишних «хвостов» каната, которые были зафиксированы в зажимах.

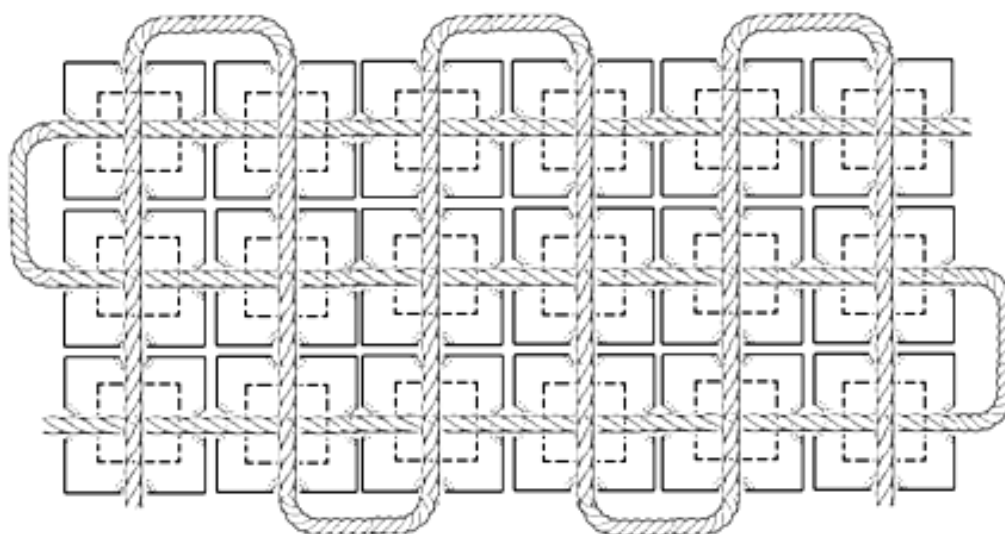


Рис. 5. Схема укладки полимерного каната в форму для изготовления ГБП

В работе были исследованы два вида полимерного каната: полипропиленовый и полиамидный диаметром 16 мм.

Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прочность сцепления полимерного каната с бетонным блоком

№ партии	Наименование соединения плит	№ образца	Фактическая прочность, кН (кгс)	Примечание
1	Канатное соединение ГБП полипропиленовым (ПП) канатом, диаметром 16 мм	1	13,71 (1371)	Продергивание в бетоне
		2	13,88 (1388)	Продергивание в бетоне
		3	14,65 (1465)	Продергивание в бетоне
Среднее значение для партии			14,26 (1426)	Продергивание в бетоне
2	Канатное соединение ГБП полиамидный(ПА) канатом, диаметром 16 мм	1	7,85 (785)	Продергивание в бетоне
		2	8,11 (811)	Продергивание в бетоне
		3	7,32 (732)	Продергивание в бетоне
Среднее значение для партии			7,76 (791)	Продергивание в бетоне

Закладные пластины для ГБП должны соответствовать ГОСТ 57997-2017 [4]. Они представляют собой забетонированные в угловые и средние блоки металлические элементы. Количество закладных деталей на одну плиту – 12 шт.

Закладная деталь представляет собой пластину размером 50×300 мм, согнутая углом на длинной части которой имеется эллипсоидное отверстие, для болтового крепления с соседними плитами (см. рис. 4).

Закладные пластины изготавливаются из полосы стали марки Ст3 толщиной 5 мм, которые зажимаются между крышкой формообразующей оснастки в специальных пазах, таким образом, что нижняя, короткая часть упирается в дно формы, соответственно при затяжке верхней и нижней части формообразующей оснастки, деталь крепко зажимается внутри и не дает смещения от проектного положения.

В работе исследовалось усилие, при котором закладная пластина может вырваться из тела бетонного блока. Результаты данных испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Прочность сцепления металлической закладной пластины с бетонным блоком

№ партии	Наименование	№ образца	Фактическая прочность, кН (кгс)	Примечание
1	Металлическая закладная пластина	1	30,98 (3098)	Разрыв закладной
		2	33,82 (3382)	Разрыв закладной
		3	32,46 (3246)	Разрыв закладной
Среднее значение			32,45 (3245)	Разрыв закладной

Результаты и их обсуждение

По результатам выполненных исследований канатного соединения гибких бетонных плит класса по прочности В30, полипропиленовым канатом (ПП) диаметром 16мм, минимальное значение нагрузки при котором происходит продергивание каната в бетоне составляет 13,71 кН (1371 кгс).

По результатам выполненных исследований образцов канатного соединения гибких бетонных плит класса прочности В30, полиамидным канатом (ПА) диаметром 16мм, минимальное значение нагрузки при котором происходит продергивание каната в бетоне составляет 7,32 кН (732 кгс). Соответственно, наиболее предпочтительным с точки зрения сцепления полимерного каната с бетонным блоком является полипропиленовый канат.

По результатам выполненных исследований степени сцепления стальной закладной пластины с бетонным блоком класса В30, установлено, что при нагрузках превышающих 3000 кгс происходит разрушение самой закладной детали.

Заключение. Усовершенствованная гибкая бетонная плита имеет неоспоримые преимущества по сравнению с изделиями конкурентами. Это достигается за счет конструктивной особенности, заключающейся в том, что ширина плиты всегда составляет 1/2 длины, а также за счет применения принципиально нового способа крепления плит с помощью специальных металлических закладных деталей. Данные усовершенствования позволяют значительно повысить скорость сборки защитного покрытия на строительной площадке, снизить

общие трудозатраты, при необходимости провести быструю замену плиты при ремонте и соответственно улучшить технико-экономические показатели.

Экспериментально установлено, что для соединения блоков в единую гибкую бетонную плиту в качестве полимерного армирующего каната предпочтительней использовать полипропиленовый трос. Также выявлено, что степень сцепления предложенной закладной пластины с телом бетонного блока превышает 3000 кгс.

Список литературы

1. ГОСТ 58411-2019. Плиты бетонные гибкие. Технические условия: дата введения 2020.01.01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

2. Полезная модель № 218352. Гибкая бетонная плита/ Каламян И.С., Рустамов А.В., Усачев А.М.; патентообладатель ООО «ТРАНССНАБСТРОЙ». – заявка: 2022135391/09(076772); 30.12.2022; опубл. 23.05.2023, Бюл. № 15.

3. ГОСТ 30055-93. Канаты из полимерных материалов и комбинированные. Технические условия: дата введения 1995.01.01. – Минск: Издательство стандартов, 1994. – 26 с.

4. ГОСТ Р 57997-2017. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций: дата введения 2018.01.05. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 23 с.

5. Design manual for articulating concrete block (ACB) revetment systems. Second Edition. National Concret Masonry Association, 20

References

1. GOST58411-2019. Flexible concretes labs. Specifications: date of in trodution 2020.01.01. – Moscow: Standartinform, 2019. – 12 p.

2. Utility model No. 218352. Flexible concrete slab / Kalamyan I.S., Rustamov A.V., Usachev A.M.; patent holder of TRANSSNABSTROY LLC. – application: 2022135391/09(076772); 12/30/2022; publ. 05/23/2023, Issue No. 15.

3. GOST 30055-1993. Polymeric and combined ropes. Specifications: date of introduction 1995.01.01. – Minsk: Publishing House of Standards, 1994. – 26 p.

4. GOST 57997-2017. Welded reinforcing products and inserts, welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. General specifications: date of introduction 2018.01.05. – Moscow: Standartinform, 2018. – 23 p.

5. Design manual for articulating concrete block (ACB) revetment systems. Second Edition. National Concrete Masonry Association, 20

Усачев Александр Михайлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Рустамов Александр Владимирович – магистрант группы мЭКСМ-221 Строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Каламян Игорь Сергеевич – магистрант группы мЭКСМ-221 Строительного факультета Воронежского государственного технического университета

УДК 678.762.9

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ КАУЧУКА ИЗ ЛАТЕКСА ОТ СТЕПЕНИ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ

Г.Ю. Вострикова^{}, И.А. Писарева, Е.Ю. Разуваева, С.С. Никулин*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Вострикова Галина Юрьевна,*

E-mail: vostr76-08@live.ru

В исследовании изучалось влияние уровня кислотности на процесс выделения каучука из латекса при использовании катионного полиэлектролита ВПК-402. Было обнаружено, что при снижении кислотности среды и увеличении значения рН требуется больше электролита для достижения коагуляции. Также было учтено влияние температуры на процесс коагуляции, и оптимальные результаты были достигнуты при температуре 1-2°C для выделения каучука из бутадиен-стирольного латекса.

Ключевые слова: полиэлектролит, латекс, коагулирующий агент, кислотность среды

DEPENDENCE OF RUBBER EXTRACTION FROM LATEX ON THE DEGREE OF ACIDITY OF THE MEDIUM

G.Y. Vostrikova^{}, I.A. Pisareva, E.Y. Razuvaeva, S.S. Nikulin*

*Voronezh State Technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, 20-letia Oktiabrya st., 84*

**Corresponding author: Vostrikova Galina Yurievna, E-mail: vostr76-08@live.ru*

The study examined the effect of acidity level on the process of releasing rubber from latex using the cationic polyelectrolyte VPK-402. It was found that as the acidity of the medium decreases and the pH increases, more electrolyte is required to achieve coagulation. The effect of temperature on the coagulation process was also taken into account, and optimal results were achieved at a temperature of 1-2°C for the release of rubber from styrene-butadiene latex.

Keywords: polyelectrolyte, latex, coagulating agent, acidity of the medium

Введение. В современном мире наблюдается постоянное развитие химической и нефтехимической промышленности по всему миру [1, 2]. Новые материалы, технологии и оборудование разрабатываются для производства синтетических полимеров, с особым вниманием к каучукам, получаемым через эмульсионную полимеризацию. Однако процесс выделения каучука из латекса с использованием различных коагулирующих систем имеет как преимущества, так и недостатки [3].

В литературном обзоре [4] представлена информация о возможности использования низко- и высокомолекулярных коагулянтов с атомами азота для этой цели. Сегодня в промышленности широко используются полимерные четвертичные соли аммония, которые обладают высокой эффективностью при выделении каучука из латекса. Однако у них также есть свои недостатки, такие как дефицитность, высокая стоимость и ограничения в применении в некоторых технологических процессах.

Из литературных исследований известно, что процесс выделения каучука из латекса часто проводится с использованием подкисляющего агента, такого как серная кислота, расход которой составляет от 12 до 15 кг на одну тонну каучука. Однако, недостаточно информации о выделении каучуков из латексов при различных количествах подкисляющего агента. Не совсем ясно, какое числовое значение pH среды необходимо для достижения максимального выхода продукта, то есть каучука. Количественные добавки серной кислоты представляют значительный интерес и имеют важное практическое значение в процессе выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса [5].

Методики получения и исследования образцов. Для проведения процесса выделения каучука из бутадиен-стирольного латекса в данном исследовании использовался водорастворимый синтетический флокулянт ВПК-402 с концентрацией 2,0 %. Для получения каучука СКС-30 АРК использовался бутадиен-стирольный латекс с определенными характеристиками, представленными на рис. 1.



Рис. 1. Характеристики бутадиен-стирольного латекса

На рис. 1 видно, что сухой остаток латекса чуть больше 20 %, поверхностное натяжение около 60 мН/м. Среда щелочная, т.к. показатель кислотности имеет значение 10 и связанного стирола чуть больше 20 %.

Действительно, из полученных данных видно, что процесс выделения каучука из латекса СКС-30 АРК целесообразно проводить при пониженных температурах. Это позволяет не только снизить расход дорогостоящих коагулирующих агентов, но также может повлиять на качество и выход продукта. Низкие температуры могут способствовать более эффективной коагуляции и образованию крошки каучука с высокой полнотой коагуляции. Кроме того, использование низких температур может улучшить физико-механические свойства конечного продукта.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Таким образом, оптимизация процесса выделения каучука из латекса при пониженных температурах может привести к экономии ресурсов, улучшению качества продукта и повышению эффективности производства. Экспериментальные результаты, представлены на рис. 2.

С ВПК-402 полной коагуляции достигали при его расходе 0,5 кг/т каучука (температура 1-2 °С) и расходе серной кислоты 15 кг/т каучука. При повышении температуры до 20°С расход ВПК-402 увеличился до 1,8 кг/т каучука, а при температуре 20 °С – 2,5 кг/т каучука. Таким образом, с увеличением температуры процесса коагуляции увеличивался расход ВПК-402. При передозировках ВПК-402 серум приобретал небольшой белый оттенок, что может быть связано с перезарядкой коагулируемой системы.

Уменьшение расхода серной кислоты до 10 кг/т каучука и температуры 1-2 °С приводило к достижению полной коагуляции при расходе ВПК-402 1,5 кг/т каучука, что больше, чем при расходе 15 кг/т каучука серной кислоты. При увеличении температуры до 20 °С полная коагуляция достигалась при расходе ВПК-402 2,0 кг/т каучука, а при 60 °С - 2,5 кг/т каучука с дозреванием системы в течение 5-10 минут.

Дальнейшее снижение расхода серной кислоты до 5 кг/т каучука показало, что полное выделение каучука из латекса возможно лишь при расходе ВПК-402 15 кг/т каучука и температуре 1-2 °С. Увеличение расхода ВПК-402 приводило к снижению выхода крошки каучука из-за перезарядки системы. Наблюдалось повышение липкости образующейся крошки и образование мелкодисперсной крошки.

При 20 °С полнота коагуляции бутадиен-стирольного латекса достигалась только при расходе 15 кг/т каучука и разбавлении коагулируемой системы водой в отношении латекс: вода 1 : 1,0 – 1,5.

Не проводили экспериментальные исследования при температуре 60°С из-за их нецелесообразности. Без добавки подкисляющего агента в коагулируемую систему процесс выделения каучука из латекса при использовании ВПК-402 был слабым. При расходе ВПК-402 10,0 кг/т каучука образование коагулюма не превышало 2 %. Увеличение расхода ВПК-402 до 15 кг/т каучука увеличило выход крошки каучука до 4%. Полной коагуляции удалось достичь при расходе ВПК-402 30,0 кг/т каучука.

Вид коагулянта			ВПК-402						
Температура коагуляции, °С			1-2						
Расход ВПК-402, кг/т каучука	0,25	0,5	1,0	1,5	-	-	-	-	
Расход серной кислоты, кг/т каучука	15	15	15	15	-	-	-	-	
Выход коагулюма, %	75,0	91,4	94,5	95,1	-	-	-	-	
Оценка полноты коагуляции	кнп	кп	кп	кп	-	-	-	-	
Вид коагулянта			ВПК-402						
Температура коагуляции, °С			20						
Расход ВПК-402, кг/т каучука	0,5	1,0	1,5	1,8	2,5	3,0	-	-	
Расход серной кислоты, кг/т каучука	15	15	15	15	15	15	-	-	
Выход коагулюма, %	60,0	68,6	80,9	92,2	93,5	93,6	-	-	
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кнп	кп	кп	кп	-	-	
Вид коагулянта			ВПК-402						
Температура коагуляции, °С			60						
Расход ВПК-402, кг/т каучука	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	-	
Расход серной кислоты, кг/т каучука	15	15	15	15	15	15	15	-	
Выход коагулюма, %	35,5	53,6	76,8	86,4	92,5	94,0	94,5	-	
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	кп	кп	-	
Вид коагулянта			ВПК-402						
Температура коагуляции, °С			1-2						
Расход ВПК-402, кг/т каучука	0,5	1,0	1,5	2,0	-	-	-	-	
Расход серной кислоты, кг/т каучука	10	10	10	10	-	-	-	-	
Выход коагулюма, %	64,1	83,2	94,5	96,4	-	-	-	-	
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кп	кп	-	-	-	-	
Вид коагулянта			ВПК-402						
Температура коагуляции, °С			20						
Расход ВПК-402, кг/т каучука	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	-	-	-	
Расход серной кислоты, кг/т каучука	10	10	10	10	10	-	-	-	
Выход коагулюма, %	57,7	65,0	79,1	91,9	96,4	-	-	-	
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кнп	кп	кп	-	-	-	
Вид коагулянта			ВПК-402						
Температура коагуляции, °С			60						
Расход ВПК-402, кг/т каучука	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	-	-	
Расход серной кислоты, кг/т каучука	10	10	10	10	10	10	-	-	
Выход коагулюма, %	36,8	41,8	62,7	73,2	94,1	94,8	-	-	
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	кп	-	-	
Вид коагулянта			ВПК-402						
Температура коагуляции, °С			1-2						
Расход ВПК-402, кг/т каучука	5,0	10,0	15,0	-	-	-	-	-	

Рис. 2. Значения при выделении каучука из латекса СКС-30 АРК ВПК-402

Коагуляция с созреванием системы в течение 5-10 минут приводила к образованию мелкодисперсной крошки каучука. Коагулируемую систему разбавляли водой в соотношении латекс: вода 1:1,0-1,5. Размер образующейся крошки составлял 0,5-3,0 мм[5].

Заключение. Процесс выделения каучука из латекса следует проводить в кислой среде. Расход серной кислоты не должен быть менее 10 кг/т каучука. Снижение расхода серной кислоты ниже 10 кг/т каучука приводит к увеличению расхода коагулирующих агентов, увеличивается количество образующейся мелкодисперсной крошки каучука, что может привести к её потере с серумом и промывными водами.

Список литературы

1. Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О., Давлетбаева И.М., Кирпичников П.А. Химия и технология синтетического каучука. М.: Химия, Колос С. 2008. 357 с.
2. Папков В.Н., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж. ВГУИТ. 2015. 315 с.
3. Распопов И.В., Никулин С.С., Гаршин А.П. и др. Совершенствование оборудования и технологии выделения бутадиен- (альфа-метил) стирольных каучуков из латексов. М.: ЦНИИТ Энефтехим. 1997. 68 с.
4. Никулин С.С., Вережников В.Н. Применение азотсодержащих соединений для выделения синтетических каучуков из латексов. Химическая промышленность сегодня. 2004, № 4. С.26-37.
5. Писарева И.А., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Изучение влияния расхода подкисляющего агента на процесс выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса. Химия, физика и механика материалов. 2023. № 2 (37). С.42-48.

References

1. Averko-Antonovich L.A., Averko-Antonovich Yu.O., Davletbaeva I.M., Kirpichnikov P.A. Chemistry and technology of synthetic rubber. M.: Chemistry, Colossus. 2008. 357 p.
2. Papkov V.N., Rivin E.M., Blinov E.V. Styrene butadiene rubbers. Synthesis and properties. Voronezh. VGUI. 2015. 315 p.
3. Raspopov I.V., Nikulin S.S., Garshin A.P. and others. Improvement of equipment and technology for the isolation of butadiene- (alpha-methyl) styrene rubbers from latex. M.: Tsniiteneftkhim. 1997. 68 p.
4. Nikulin S.S., Verezhnikov V.N. The use of nitrogen-containing compounds for the isolation of synthetic rubbers from latex. The chemical industry today. 2004, No. 4. Pp.26-37.
5. Pisareva I.A., Vostrikova G.Yu., Nikulin S.S. Studying the effect of the consumption of an acidifying agent on the process of separating styrene-butadiene rubber from latex. Chemistry, physics and mechanics of materials. 2023. No. 2 (37). Pp. 42-48.

Вострикова Галина Юрьевна – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Писарева Ирина Александровна – студентка кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий

Разуваева Елена Юрьевна – студентка кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Никulin Сергей Саввович – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий

УДК 691.32

**АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ КОНГО
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОНОВ**

Ф.Л. Янготикала¹*, В.Т. Перцев¹, А.А. Леденев²*

*¹Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

*²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная
академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Российская Федерация, 394064, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, 54а*

**Адреса для переписки: Янготикала Флавьен Локомба,*

E-mail: flayanlok@gmail.com,

Леденев Андрей Александрович, E-mail: ledenoff@mail.ru

Представлены результаты анализа и обоснования выбора минеральных ресурсов Демократической Республики Конго (ДР Конго) для разработки составов и технологии получения высококачественного бетона с применением комплексных органо-минеральных добавок (ОМД). Экспериментальные исследования показали возможность эффективного применения песчаника типа аркоз с маркой по дробимости М800, месторождения которого расположены в столице ДР Конго, для получения высокопрочного бетона. Проведено обоснование выбора типа портландцемента, а также минеральных компонентов ОМД – вулканических пород месторождений ДР Конго в виде туфа, пепла, перлита, для регулирования свойств бетонных смесей и улучшения физико-механических характеристик бетона. Сформулированы дальнейшие направления исследований по разработке составов и технологии высококачественного бетона.

Ключевые слова: минеральные ресурсы ДР Конго, высококачественный бетон, песчаник, геотехнические районы, комплексные добавки для бетона

© Янготикала Ф.Л., Перцев В.Т., Леденев А.А., 2024

**THE ANALYSIS OF MINERAL RESOURCES OF DEMOCRATIC
REPUBLIC CONGO FOR PRODUCTION OF HIGH PERFORMANCE
CONCRETES**

F.L. Yangotikala^{1}, V.T. Pertsev¹, A.A. Ledenev^{2*}*

*¹Voronezh State Technical University, Russian Federation,
394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktabria, 84*

*²«Military Educational and Scientific Centre of the Air Force
N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh),
Russian Federation, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevikov, 54a*

**Corresponding author: F.L. Yangotikala, E-mail: flayanlok@gmail.com,
A.A. Ledenev, E-mail: ledenoff@mail.ru*

Assay values and substantiations of sampling of mineral resources of Democratic Republic Congo (DR Congo) for exploitation of compositions and production engineering of deriving of high performance concretes with application complex organic-mineral additives (OMA) are presented. Experimental researches have shown a possibility of effective application of sandstone of a type an arkose with the mark on hardness M800 which deposits are had in capital DR Congo, for deriving of high-strength concrete. The substantiation of sampling of a type of portland cement, and also mineral components OMA – vulcanics of deposits DR Congo in the form of a tuf, ashes, perlite, for regulating of properties of concrete mixtures and martempering of physical-mechanical performances of concrete is made. The further directions of researches on exploitation of compositions and production engineering of high performance concrete are formulated.

Keywords: mineral resources of DR Congo, high performance concrete, sandstone, geotechnical areas, complex additives for concrete

Введение. В настоящее время одной из основных проблем строительства в ДР Конго является развитие материальной базы для производства бетона и железобетона. Особенно важным является организация производств высокока-

чественного бетона. Это связано с необходимостью возведения таких сложных сооружений как стадионы, многопролетные мосты, автострады, торговые центры, дамбы, плотины, резервуары и др. Также высококачественный бетон может успешно применяться для увеличения долговечности железобетонных конструкций, уменьшения их сечения, защиты арматуры от агрессивной среды и др. [1].

Под высококачественными понимаются бетоны, которые по своим характеристикам в лучшую сторону отличаются от рядовых бетонов, как с точки зрения готовых бетонных изделий, так и с точки зрения свежеприготовленной бетонной смеси, прежде всего, по удобоукладываемости и уплотняемости [2]. Получение таких бетонов в странах, где неразвита индустрия строительных материалов, может быть реализовано, на основе комплекса исследований и разработок эффективных составов и технологии с применением местного доступного минерального сырья.

Совершенствование технологии и увеличение объемов производства высококачественного бетона на основе минеральных ресурсов ДР Конго предполагается за счет научно-практического обоснования выбора сырьевых материалов с применением комплексных ОМД для регулирования свойств бетонных смесей и улучшения физико-механических показателей бетона.

Цель работы – анализ и обоснование выбора минеральных ресурсов ДР Конго для разработки составов и технологии высококачественного бетона с применением комплексных ОМД.

Задачи:

- 1) анализ минеральных ресурсов ДР Конго с обоснованием выбора минеральных сырьевых компонентов для высококачественного бетона;
- 2) экспериментальные исследования свойств минеральных компонентов – заполнителей для высококачественного бетона;
- 3) обоснование выбора портландцемента и компонентов ОМД для модифицирования структуры цементного камня, регулирования свойств бетонных смесей и улучшения физико-механических характеристик бетона;

4) выработка направлений дальнейших исследований по разработке составов и технологии получения высококачественного бетона на основе минеральных ресурсов ДР Конго.

Анализ минеральных ресурсов ДР Конго для получения высококачественного бетона

Сырьевая база для производства бетона и железобетона, а также разновидность минеральных ресурсов определяется природно-климатическими условиями и географическим расположением ДР Конго. Треть территории ДР Конго около 800000 км² составляет обширная котловина, которая является бассейном крупных рек Конго, Касаи, Убанги и др. (рис. 1).

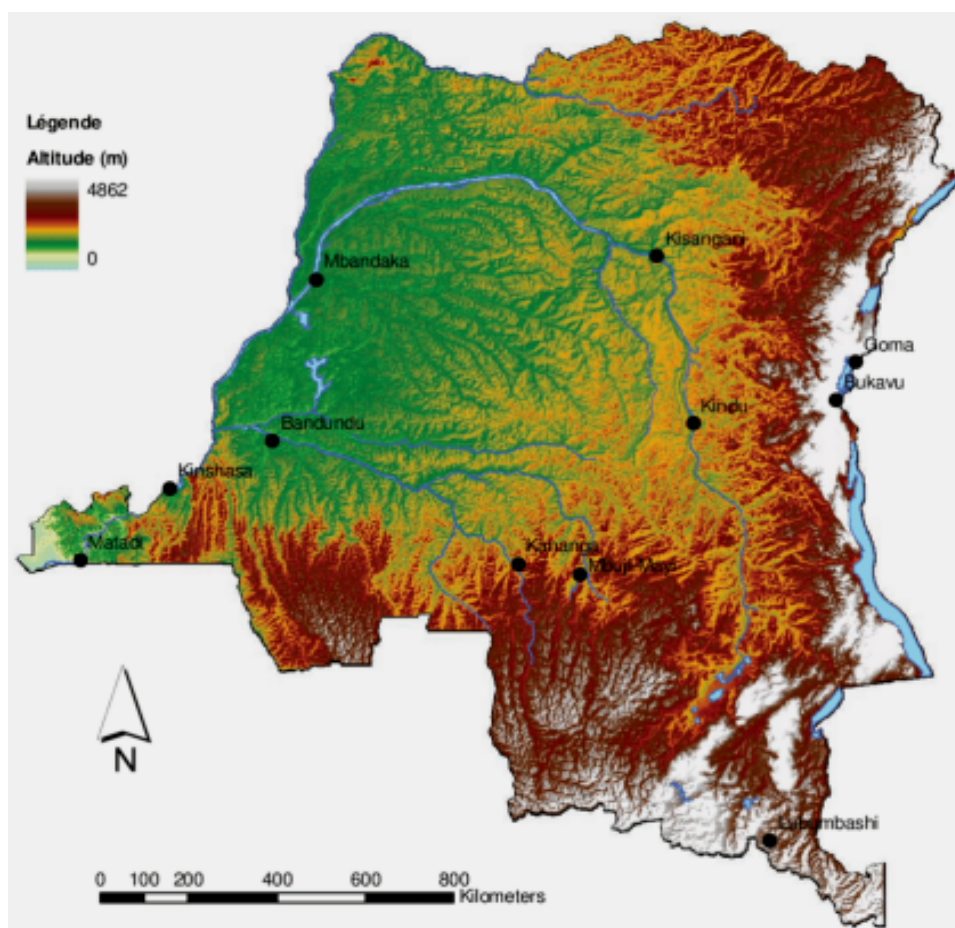


Рис. 1. Карта рельефа местности ДР Конго

Этот район характеризуется низким количеством транспортных сетей и в нем практически отсутствуют сырьевые материалы для бетона. Вокруг обшир-

ной котловины располагаются различные районы по геологии, рельефу и климату с широким разнообразием нерудного сырья для производства цемента, заполнителей и других материалов, входящих в состав бетона.

При анализе минеральных ресурсов важно отметить климатические условия ДР Конго, для которой характерны пять основных зон:

1) экваториальный климат в центрально-северном районе, где сухой сезон продолжается меньше 2 месяцев с температурой 21-31 °С, осадки 1800-2000 мм;

2) влажный тропический климат в центрально-южном районе и на севере, где сухой сезон продолжается 3-5 месяцев с температурой 13-27 °С, осадки 1000-1500 мм;

3) сухой тропический климат на юге, где сухой сезон продолжается 5-6 месяцев с температурой 13-27 °С, осадки 1000-1500 мм;

4) сухой тропический климат над литоральной зоной, где сухой сезон продолжается 5-6 месяцев с температурой 21-28 °С, осадки 1000-1500 мм;

5) горный климат на востоке, где практически отсутствует сухой сезон с температурой 13-25 °С, осадки 1700-2000 мм.

По данным [3, 4] в Д.Р. Конго относительная влажность составляет 79-84%, средняя годовая температура +25 °С. Природно-климатические условия повлияли на логику составления карты, включающей 7 геотехнических районов страны: Западный район, Центральный район, Центрально-южный район, Южный район, Восточный район, Северный район, Центрально-северный район (рис. 2) [5].

С учетом представленных климатических и геологических особенностей, а также опираясь на данные, полученные из карты королевского музея Центральной Африки (Тервюрен, 2005 год) [6] были рассмотрены строительные материалы по всей территории страны. В ходе анализа минеральных ресурсов ДР Конго нами была составлена карта расположения компонентов бетона во всех 7-ми районах (рис. 3).

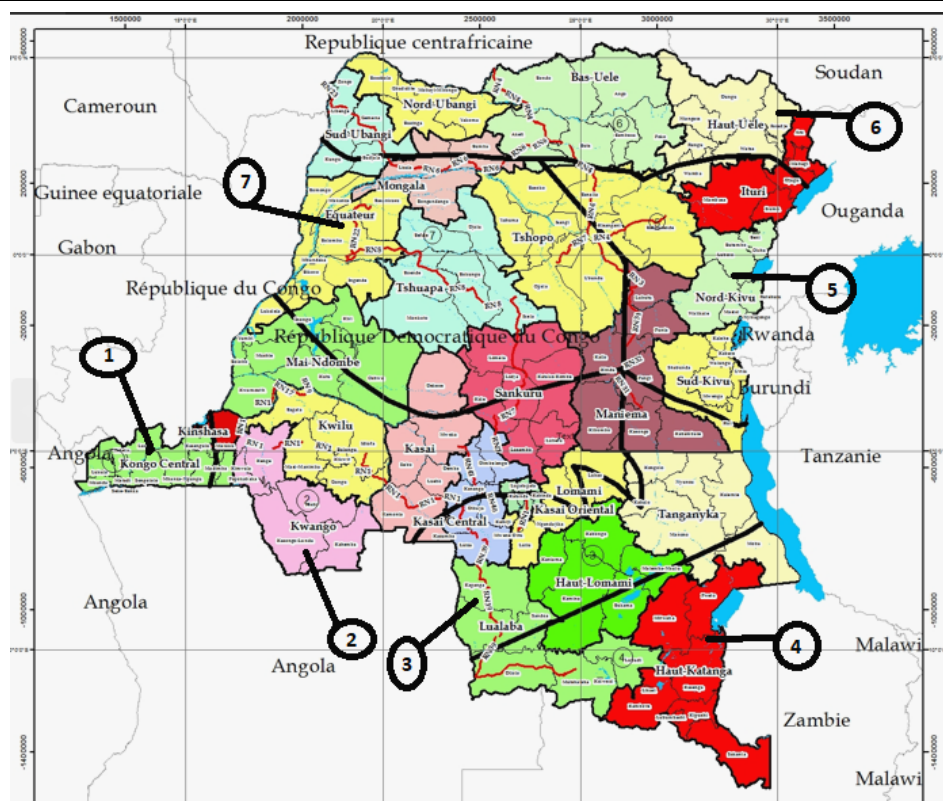


Рис. 2. Обновленная карта геотехнических районов Д.Р. Конго:
1 – Западный район; 2 – Центральный район; 3 – Центрально-южный район;
4 – Южный район; 5 – Восточный район; 6 – Северный район;
7 – Центрально-северный район

Установлено наличие большого количества ресурсов в 5-ти из 7-ми районов и соответственно небольшое количество ресурсов в 2-ух районах. Можно отметить, что в районах 1, 3, 4, 5, 6 проще получать бетон, в том числе и высококачественный, а в районах 2 и 7 сложнее так, как надо опираться на поставку ресурсов из других районов.

Согласно докладу генерального директора горного кадастра, представленному в декабре 2016 г., на территории ДР Конго добываются следующие нерудные строительные материалы: глина, базальт, известняк для заполнителей, известняк для цемента, доломит, гранит, песчаник, гипс, латерит, мрамор, кварц, песок и др. (рисунок 4).

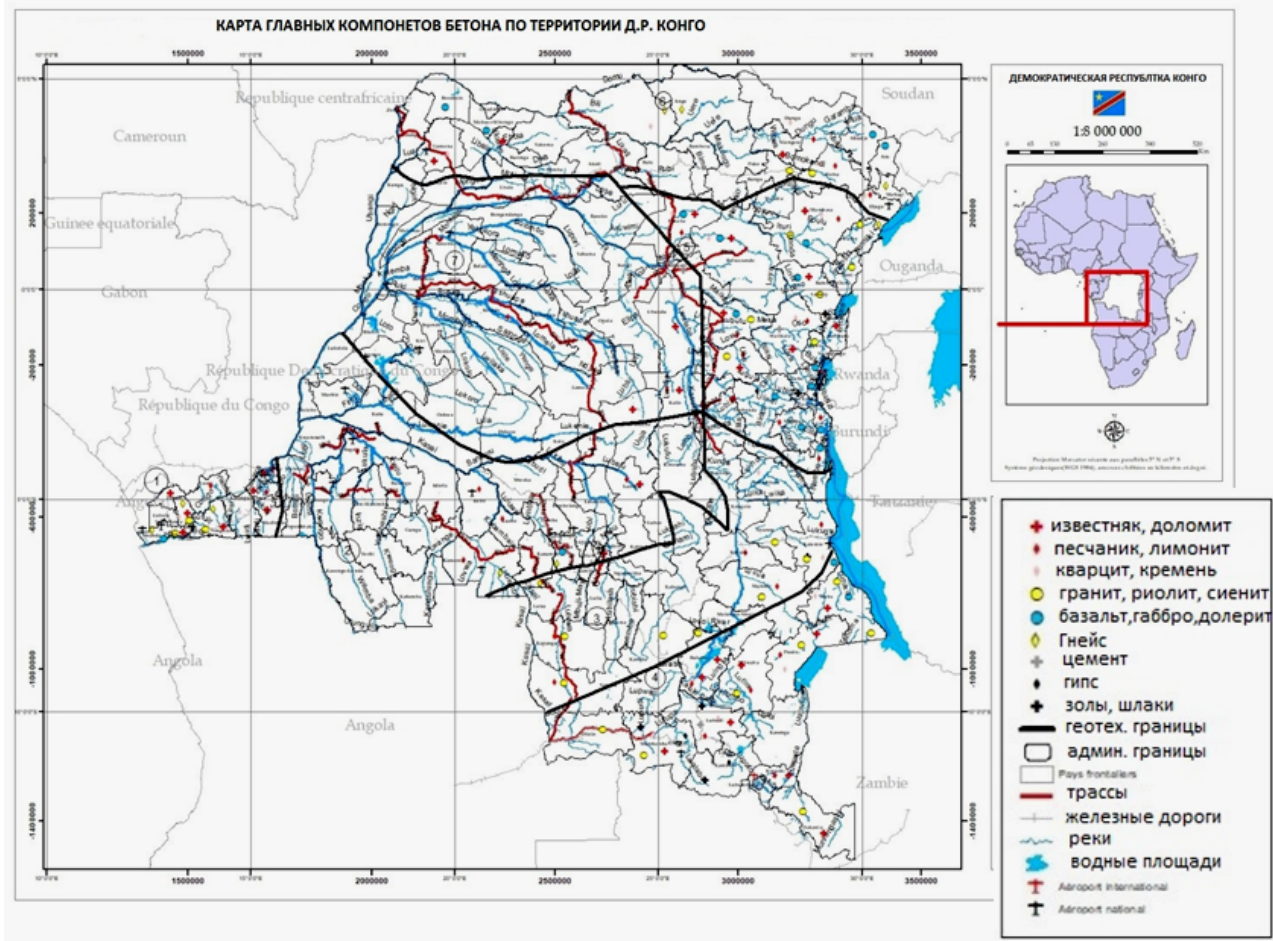


Рис. 3. Карта распределения компонентов бетона по территории ДР Конго

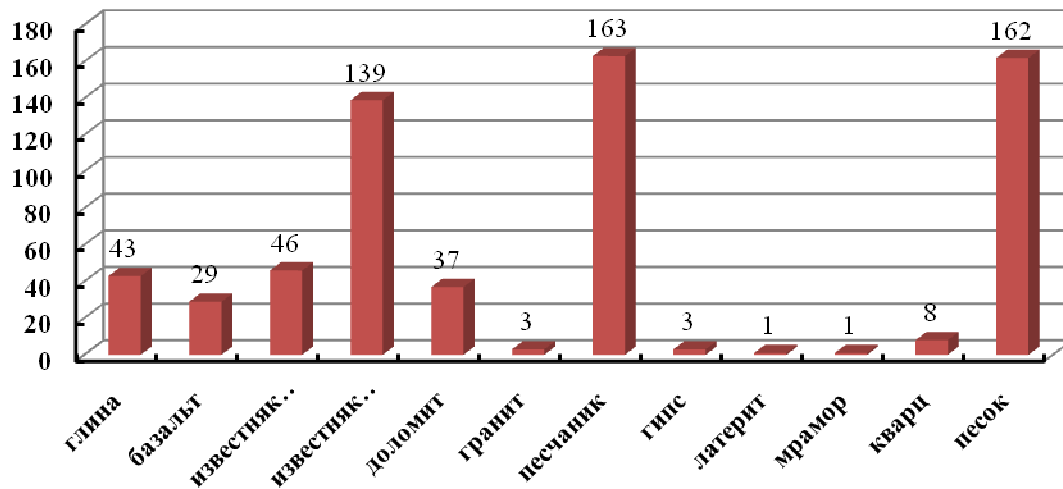


Рис. 4. Частота распространения строительных материалов в карьерах ДР Конго

Один из самых распространенных и доступных материалов ДР Конго – песок [7]. Его применение в качестве заполнителя для бетона позволяет

упростить строительство за счет снижения затрат на доставку из карьеров, где существует проблема нехватки дорог. Также в отмеченных районах имеется сырьевая база для получения портландцемента и минеральных компонентов, применяемых в качестве добавок для получения высококачественного бетона.

Обоснование выбора песчаника в качестве заполнителя для высококачественного бетона

Следует отметить, что песчаник обычно не применяют для высококачественного бетона, но его разновидности не исключают такую возможность. Стоимость, доступность и способность сочетаться с другими материалами позволяет рассмотреть варианты получения высококачественного качества бетона в ДР Конго на основе песчаника. Рассмотрим более подробно данный материал в качестве заполнителя (щебня) для получения высококачественного бетона.

Песчаники представляют собой цементированные пески. При характеристике песчаников обычно указывают состав цемента – глинистый, кварцевый, известковый и др. Согласно [8] влияние цементации на характеристики песчаника может проявляться следующим образом:

- 1) кварцевая цементация повышает прочность и долговечность песчаника;
- 2) железистая цементация не обеспечивает достаточную водостойкость и морозостойкостью песчаника;
- 3) глинистая цементация является самой прочной и позволяет выдерживать песчанику резкие температурные перепады.

Песчаник – как компонент бетона (мелкий, крупный заполнитель) уже рассматривался взамен традиционных горных пород [8]. Основные характеристики песчаника:

- высокая средняя плотность 2400-2700 кг/м³;
- низкое водопоглощение 0,5-4,0 %;
- высокая огнеупорность до 1700-1770°C;
- высокая пористость;
- дробимость достигает марок М800, М1000 и М1200;

- истираемость – марки И1 и И2;
- низкая морозостойкость – актуально применение в ДР Конго.

Эффективность применения песчаника и его разновидностей для получения высококачественных бетонов, также как и всех сырьевых материалов, зависит от состава, структуры и свойств.

При выборе вида песчаника, представленного на территории страны, опирались на геологический возраст и цементацию. Исключив 2-ой и 7-ой районы, отмечается расположение песчаников с верховья по низовье р. Конго, что иллюстрирует разный возраст их формирования. Верховье символизирует район 4, представленный г. Лубумбаши, а низовье – район 1 (столица г. Киншаса). Геологические данные дают понять, что песчаник по территории страны формировался и цементировался в разное время [9]. Основываясь на данные министерства горнодобывающей промышленности ДР Конго, в которых указаны активные карьеры нерудных строительных материалов, для исследований были выбраны несколько месторождений песчаника, отличающихся геологическим возрастом и цементацией (табл. 1).

Таблица 1

Разновидности песчаника ДР Конго

№ пробы	Порода	Район/Город	Геологический возраст	Цементация	Окраска
Официально используются					
1	Аркоз ¹	1/Киншаса	Фанерозой (Мезозой)	Глинистая ²	Серо-фиолетовая
2	Аркоз	1/Касангулу	Протерозой (Докембрий)	Глинистая ²	Красная
3	Аркоз	1/Мбанза-Нгунгу	Протерозой (Докембрий)	Кварцевая ²	Светло-серая
4	Песчаник олигомиктовый ¹	4/Лубумбаши	Протерозой (Докембрий)	Глинистая ²	Серая
5	Песчаник олигомиктовый ¹	4/Лубумбаши	Протерозой (Докембрий)	Кварцевая ²	Светло-серая
6	Песчаник олигомиктовый ¹	4/Лубумбаши	Протерозой (Докембрий)	Железистая ²	Ржаво-бурая
Неофициально используются					
7	Песчаник полимиктовый	5/Баналия	Фанерозой (Мезозой)	Глинистая ²	Красная
8	Песчаник полимиктовый	5/Бафвасенде	Протерозой (Докембрий)	Кварцевая ²	Бурая

¹Пробы песчаника № 1, 4, 5 и 6 применяли для экспериментальных исследований;
²Тип цементации определяли по материалам работ [10,11]

Результаты экспериментальных исследований свойств песчаника

В наших исследованиях для испытания песчаника применяли пробы № 1, 4, 5 и 6 (см. табл. 1). Предполагается, что тенденцию изменения свойств остальных проб можно будет предсказать.

Эксперименты проводили в соответствии с требованиями нормативных документов [12, 13]. Определяли следующие характеристики песчаника: зерновой состав, плотность, марка щебня по дробимости, марка щебня по истираемости, водопоглощение щебня и др. Внешний вид и фракционный состав испытанных проб песчаника приведен на рис. 5. Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 2.



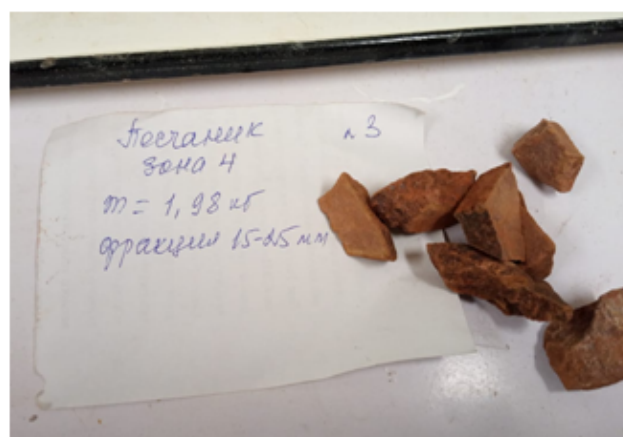
а) Аркоз (проба № 1)



б) Песчаник (проба № 4)



в) Песчаник (проба № 5)



г) Песчаник (проба № 6)

Рис. 5. Внешний вид и фракционный состав испытанных проб песчаника

Результаты испытаний песчаника

Вид щебня	Наименование показателя			
	Плотность, кг/м ³	Марка щебня по дробимости	Марка щебня по истираемости	Водопоглощение щебня, %
Аркоз (проба № 1)	2564	M800	И1	2,8
Песчаник (проба № 4)	2681	M400	И1	4,8
Песчаник (проба № 5)	2488	M600	И1	2,4
Песчаник (проба № 6)	2532	M600	И1	4,8

Проведенные испытания показали, что одна из самых прочных разновидностей песчаника – аркоз (проба № 1), марка по дробимости M800, месторождения которого находятся в геотехническом районе 1 (г. Киншаса). Следует отметить, что при высокой прочности данного песчаника его плотность относительно невысокая 2564 кг/м³ по сравнению с менее прочным песчаником (проба № 4) марки M400 плотностью 2681 кг/м³. Данная особенность характерна и для песчаника (проба № 5), имеющего высокую марку M600 при относительно низкой плотности 2488 кг/м³. По результатам экспериментов можно предсказать подобные или лучшие характеристики аркоза проб № 2 и 3, представленных в табл. 2.

Высокая прочность аркоза, который можно считать аркозовой ваккой, обусловлена его природой и геологическими особенностями образования. Аркоз – осадочная порода красного оттенка из-за железистого пигмента, которая считается специфическим классом полевошпатовых песчаников, обогащенная каолининовой глиной. Он грубозернистый и угловатый, преобладающий минерал – кварц или полевой шпат, тип цементации – глинистая [10, 14].

Отличие свойств аркоза, месторождения которого расположены в геотехническом районе 1, от песчаника месторождений района 4 могут быть объяснены высотой рельефа местности. Высота рельефа г. Киншаса (район 1) около 400 м, а г. Лубумбаши (район 4) в 3 раза больше. Районы с высоким рельефом претерпевают быструю эрозию, поэтому полевые шпаты не успевают разру-

шиться и включаются в процесс осадконакопления. В условиях низкого рельефа эрозия происходит медленно и при соответствующей климатической обстановке полевые шпаты могут полностью разрушиться. Следовательно, присутствие или отсутствие полевых шпатов является результатом равновесия между скоростью выветривания и скоростью эрозии [14]. Это объясняет, почему более молодые по геологическому возрасту породы песчаника из района 1 достигают марку М800, а более старшие породы из района 4 с трудом достигают марку М600.

Месторождения выделенного аркоза (проба № 1) находятся в западной части столицы г. Киншаса, где наблюдается интенсивный темп строительства и откуда доставка может организоваться в геотехнические районы с нехваткой сырьевых материалов для бетона: в район 2 через национальную трассу 1 и в район 7 через р. Конго.

На основе такого заполнителя марки М800, можно получать бетон прочности 70 МПа и выше, что позволяет рассматривать такой бетон как высокопрочный для применения в более ответственных сооружениях [15].

Кроме того, низкое водопоглощение этого материала позволяет эффективно использовать его при строительстве в болотистых частях столицы г. Киншаса, а также может доставляться на место строительства ГЭС ИНГА 3 [16].

В дальнейших исследованиях предполагается расширение спектра применения данного песчаника для получения высококачественного бетона. Для этого важно оптимизировать гранулометрический состав заполнителей, а также рассмотреть варианты его применения в бетонах при модифицировании физико-технических свойств цементного камня комплексными ОМД.

Обоснование выбора портландцемента для получения высококачественных бетонов

Как было отмечено ранее, в ДР Конго находится 7 геотехнических районов, но темпы и уровень строительства в них значительно отличаются. Это во

многим связано с наличием или нехваткой транспортной инфраструктуры и цементных заводов. Как видно из рис. 6 цементные заводы сконцентрированы в районах 1, 4 и 5 [17]. Также в данных районах представлена широкая номенклатура сырьевых материалов для получения бетона, в том числе и высококачественного. В связи с этим в основных городах этих районов наблюдаются наибольшие темпы строительства: г. Киншаса (район 1), г. Лубумбаши (район 4), г. Гома (район 5), а также г. Кисангани, который находится на пересечении 5-го и 7-го районов [17].



Рис. 6. Карта цементных заводов ДР Конго

Получить высокопрочный бетон, который согласно европейским нормам EN 206-1 соответствует классу C55/67 (прочность на сжатие 60-70 МПа и выше), возможно на основе портландцемента высоких марок. В связи с этим были проанализированы характеристики портландцемента, выпускаемого предприятиями, расположенными в районе 1 ДР Конго (табл. 3).

На основании данных представленных в табл. 3 можно сделать вывод, что портландцемент, выпускаемый в районе 1 ДР Конго по минералогическому со-

ставу, удельной поверхности и прочности соответствуют требованиям ГОСТ 31108-2016 [18], предъявляемым к портландцементу типа ЦЕМ I класса 42,5. Предполагается, что данные виды портландцемента, а также другие аналогичные по своим техническим показателям можно эффективно применять для получения высококачественного бетона.

Таблица 3

Характеристики портландцемента, производимого в районе 1 Д.Р. Конго

Тип	Состав, %	Прочность	Удельная поверхность	Производительность	Нормативные документы
БТЦ СІМКО PREMIUM CEM I 42,5 R	C ₃ S=83,6; C ₂ S=12,2; C ₃ A=6,1; C ₄ AF=11,6	20 МПа через 2 суток, 50 МПа через 28 суток	3900 см ² /кг	1,2 млн т/год	Европейские нормы EN 197.1 ISO 140001
ОБТЦ PPC BARNET CEM II 42,5 R	C ₃ S=75,6; C ₂ S=5,6; C ₃ A=6,1; C ₄ AF=8,1	25 МПа через 2 суток	4000 см ² /кг	1,0 млн т/год	Европейские нормы EN 197.1 ISO 140001

Обоснование выбора компонентов комплексных ОМД

В современном строительстве улучшение качества бетона обеспечивается путем применения комплексных ОМД. Повышение эффективности ОМД для получения высококачественных бетонов может быть реализовано путем расширения сырьевой базы минеральных компонентовна основе ресурсов ДР Конго, а также совершенствования механизма совместного действия минеральных и химических компонентов [19].

В ранее выполненных исследованиях показано, что эффективными минеральными компонентами, применяемыми в составе комплексных ОМД для бетона, являются техногенные и природные материалы: микрокремнезем, золы, известняк, кварцевый песок, вулканические породы и др. [20-22].

При анализе минеральных ресурсов ДР Конго, рассматриваемых в качестве перспективных и доступных минеральных компонентов комплексных ОМД для улучшения свойств бетона анализировали 3 района (1, 4, 5), в которых расположены заводы по производству цемента (табл. 4).

Разновидности минеральных компонентов для ОМД в ДР Конго

№ п/п	Вид минерального компонента	Происхождение	Геотехнический район ДР Конго
1	Микрокремнезем	Искусственные (техногенные)	Район 1
2	Шлаки, золы	Искусственные (техногенные)	Район 4
3	Вулканические туф, пепел, перлит	Природные (вулканические горные породы)	Район 5

Выявлено, что в районе 1 доступен микрокремнезем, в районе 4 – техногенные золы и шлаки, в районе 5 – природные вулканические породы в виде туфа, пепла, перлита.

В дальнейших исследованиях будет рассмотрен вариант получения высококачественного бетона, включающего в качестве минеральных компонентов ОМД природные вулканические породы – туф, пепел и перлит, месторождения которых доступны для 5 района ДР Конго. В качестве химического компонента ОМД предлагается использовать пластифицирующие и водоредуцирующие добавки различной природы и механизма действия.

Заключение. В ходе анализа минеральных сырьевых ресурсов ДР Конго проведено обоснование выбора компонентов для получения высококачественного бетона. Экспериментально установлено, что по показателям свойств: марка по дробимости М800, марка по истираемости И1, плотности 2564 кг/м^3 , водопоглощению 2,8 % наиболее эффективным заполнителем является песчаник – типа аркоз, месторождения которого расположены в столице ДР Конго. Особенности его происхождения и глинистая цементации способны обеспечить долговечность железобетонных конструкций ответственных зданий и сооружений в различных природно-климатических и геотехнических районах ДР Конго.

В качестве вяжущего предполагается использование портландцемента типа ЦЕМ I класса 42,5, производители которого сконцентрированы в трех наиболее развитых районах ДР Конго. Для модифицирования структуры цементного камня и улучшения свойств бетона, предполагается применение ком-

плексных ОМД на основе минеральных компонентов вулканической природы месторождений ДР Конго – туфа, пепла, перлита.

Дальнейшие направления исследований предусматривают оптимизацию гранулометрического состава песчаника с экспериментальной оценкой его влияния физико-технические свойства бетона. Также предполагается на основе изучения механизма совместного действия химических добавок с минеральными компонентами, полученными из местного сырья ДР Конго, разработать эффективные комплексные ОМД для регулирования свойств бетонных смесей и улучшения физико-механических свойств бетонов.

Список литературы

1. Высокоэффективный бетон: пер. с француз. М.: Проф. Герт Де Шуттер. Йерун Аперс. Издание Джейкобса. 2007. С. 2, 8.

2. Белов В.В., Смирнов М.А. Инновационные решения в технологии высокотехнологичных бетонов // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 2 (11). С. 46-50.

3. План государства ДР Конго для адаптации к изменению климата: пер. с француз. М: Министерство охраны окружающей среды и устойчивого развития ДР Конго, 2021. С. 17, 30-40.

4. Климатические данные ДР Конго: пер. с француз. М: // Мировые данные [Электронный ресурс]:<https://www.donneesmondiales.com/afrique/congo-kinshasa/climat.php>.

5. Проектирование дорог в Заире: пер. с француз М.: Департамент общественных работ и землеустройства, 1981. С. 38-46.

6. Геологическая карта ДР Конго: пер. с француз. М.: Королевский музей центральной Африки, Бельгия, 2005. 1 с.

7. Геологическое распространение строительных материалов ДР Конго: пер. с француз. М.: Землеустройство и кадастр ДР Конго. 2016. С. 12.
8. Усачев А.М., Сиденко А.А. Изучение основных свойств щебня из песчаника и оценка его качества // Химия, физика и механика материалов. 2023. № 2(37). С. 90-96.
9. Минеральные ресурсы и геология РД Конго. Часть I: пер. с француз. М.: // Геонаука для всех [Электронный ресурс]: <https://nzimbalageoscientific.blogspot.com/2015/>.
10. Здорик Т.Б., Фельдман Л.Г. Минералы и горные породы СССР // Мысль. 1970. С. 317-319.
11. Зверев А.Т. Минералы и горные породы. МИИГАиК. 2015. С. 10-17.
12. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
13. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
14. Полевошпатовые песчаники и аркозы // industrial-wood [Электронный ресурс]: <https://industrial-wood.ru/osadochnye-porody/36902-polevoshpatovyye-peschaniki-i-arkozy.html>.
15. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
16. ГЭС Гранд Инга: створ мечты // РусГидро [Электронный ресурс]: <https://dzen.ru/a/ZAH5N-Zga1koWDlk?experiment=931376>.
17. Инвестиции в промышленность ДР Конго: пер. с француз. М.: Национальное агентство по продвижению инвестиций в ДР Конго. 2018. С. 32.
18. ГОСТ 31108-2016. Цементы общестроительные. Технические условия.
19. Леденев А.А., Перцев В.Т., Халилбеков Я.З., Ноаров В.Б. Расширение сырьевой базы компонентов органоминеральных добавок для бетона // Химия, физика и механика материалов. 2017. № 2 (15). С. 25-32.

20. Перцев В.Т., Халилбеков Я.З., Леденев А.А. Характеристики минеральных компонентов органоминеральных добавок для бетона, определяющие эффективность их применения // Химия, физика и механика материалов. 2018. № 4 (19). С. 43-54.

21. Перцев В. Т., Леденев А. А., Рудаков О. Б. Физико-химические подходы к разработке эффективных органоминеральных добавок для бетона // Конденсированные среды и межфазные границы. 2018. № 20 (3). С. 432-442.

22. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Дондуков В.Г. Цементы и добавки для производства высококачественных бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 4-10.

References

1. High-performance concrete: trans. from French. M.: Prof. Geert De Schutter. Jeroen Apers. Jacobs edition. 2007. Pp. 2, 8.

2. Belov V.V., Smirnov M.A. Innovative solutions in the technology of high-tech concretes // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physico-chemical problems and high technologies of building materials science. 2015. No. 2 (11). Pp. 46-50.

3. National climate change adaptation plan. Ministry of Environment and Sustainable Development DRC, 2021. Pp. 17, 30-40.

4. The climate in the Democratic Republic of Congo: by. сфранцуз.М: // Global Database [Electronic resource]: <https://www.donneesmondiales.com/afrique/congo-kinshasa/climat.php>.

5. Zaire's road design. Zaire's Department of Public Works and Town & Country Planning, 1981. P. 38-46.

6. Geological and mining map of DRC: Royal museum of central Africa, Belgium, 2005. 1p.

7. Geological extending of construction materials DR Congo: the lane with the Frenchman. M: Land management and cadaster DR Congo. 2016. P. 12.

8. Usachev A.M., Sidenko A.A. Study of the basic properties of sandstone rubble and evaluation of its quality // Chemistry, physics and a mechanics of materials. 2023. № 2 (37). Pp. 90-96.
9. Mineral resources and geology DRC. Part I // Geoscience [Electronic resource]: <https://nzimbalageoscientific.blogspot.com/2015/>.
10. Zdorik T.B., Feldman L.D. Minerals and rocks of the USSR // Thought. 1970. P. 317-319.
11. Zverev A.T. Minerals and rocks. Moscow State University of Geodesy and Cartography. 2015. P. 10-17.
12. GOST 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications.
13. GOST 8269.0-97. Mountainous rock road-metal and gravel, industrial waste products for construction works methods of physical and mechanical tests.
14. Feldspar sandstones and arkoses // industrial-wood [Электронный ресурс]: <https://industrial-wood.ru/osadochnye-porody/36902-polevoshpatovye-peschaniki-i-arkozy.html>.
15. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concretes. Moscow: ASV, 2006. 368 p.
16. Hydropower Project Inga 3: Dream Project / RusHydro [Electronic resource]: <https://dzen.ru/a/ZAH5N-Zga1koWDlk?experiment=931376>.
17. Investments into industry DR of Congo: the lane with the Frenchman. M.: National agency on advance of investments in DR Congo. 2018. P. 32.
18. GOST 31108-2016. Common cements. Specifications.
19. Ledenev A.A., Pertsev V.T., Halilbekov Y.Z., Noarov V.B. Expansion of a raw-material base of components organic-mineral additives additives for concrete // Chemistry, physics and a mechanics of materials. 2017. № 2 (15). Pp. 25-32.
20. Pertsev V.T., Halilbekov Y.Z., Ledenev A.A. Characteristics of mineral components of organic-mineral additives for the concrete, their applications defining efficiency // Chemistry, physics and a mechanics of materials. 2018. № 4 (19). Pp. 43-54.

21. Pertsev V.T., Ledenev A.A., Rudakov O.B. Physical and chemical approaches to the development of effective organomineral additives for concrete // Condensed Matter and Interphases. 2018. № 20 (3). Pp. 432–442.

22. Kaprielov S.S, Sheinfeld A.V., Dondukov V.G. Cements and additives for producing high-strength concretes // Construction Materials. 2017. № 11. Pp. 4-10.

Янготикала Флавьен Локомба – аспирант кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Перцев Виктор Тихонович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Леденев Андрей Александрович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

УДК 621.675

**ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

И.М. Винокурова^{1}, В.С. Бородина¹, Н.Д. Гребенщиков¹, С.Н. Букша²*

*¹Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

*²ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина»,*

Российская Федерация, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

**Адрес для переписки: Винокурова Ирина Михайловна,*

E-mail: vinokurovai@bk.ru

Современное машиностроительное производство часто охватывает площадки, выполняющие большой спектр операций по сборке, испытаниям и работы техники в различных как климатических, физических и производственных условиях. Рассмотрение работы оборудования отрасли в различных нештатных ситуациях, как в мирное время, так и в период возможных конфликтных ситуациях заставляет конструкторов – разработчиков отрабатывать средства защиты оборудования с использованием комплексных методик обеспечения безопасности. В зависимости от возлагаемой нагрузки ответственности на площадки производства в авиастроении необходимо разрабатывать несколько вариантов по обеспечению защиты, как самих отдельных технологических объектов производства, так и в комплексной совокупности предприятия в целом. С целью недопущения больших экономических, экологических и человеческих потерь, необходимо разрабатывать при проектировании, внедрять и применять в совокупности не одно, а несколько друг друга дополняющих и дублирующих методов обеспечения защиты.

Ключевые слова: риски коррозионного разрушения, промышленная безопасность, аварийные ситуации, комплексные методы защиты, дренажные методы защиты

ISSUES OF DEVELOPMENT OF METHODS FOR INDUSTRIAL SAFETY PROTECTION OF A MACHINE-BUILDING PRODUCTION FACILITY

I.M. Vinokurova^{1*}, V.S. Borodina¹, N.D. Grebenschikov¹, S.N. Buksha²

¹Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84

²Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin,

Russian Federation, 394064, Voronezh, ul. Starykh Bolshevikov, 54a

**Address for correspondence: Vinokurova Irina Mikhailovna,*

E-mail: vinokurovai@bk.ru

Modern machine-building production often covers sites that perform a wide range of assembly, testing and operation of equipment in various climatic, physical and industrial conditions. Consideration of the operation of the industry's equipment in various emergency situations, both in peacetime and during possible conflict situations, forces designers and developers to work out means of protecting equipment using integrated safety techniques. Depending on the burden of responsibility imposed on the production sites in the aircraft industry, it is necessary to develop several options to ensure the protection of both individual technological production facilities themselves and in the complex aggregate of the enterprise as a whole. In order to avoid large economic, environmental and human losses, it is necessary to develop, implement and apply together not one, but several complementary and duplicative methods

Keywords: risks of corrosion damage, industrial safety, emergencies, comprehensive protection methods, drainage protection methods

Введение. Проблемы защиты от коррозионных разрушений оборудования в машиностроительном производстве являются острыми и первостепенными

ми, так как производство связано с большими технологическими нагрузками, и остановка любой операционной площадки несёт за собой временной сбой технологической цепочки с последующими значительными материальными [1-19] и ресурсными потерями. Выход из строя технологической цепочки производства из-за коррозионных разрушений существенно снижает безопасность эксплуатации оборудования, а зачастую приводит к остановке изготовительных площадок обработки, сборки, рабочей обкатки узлов и угрожает промышленной безопасности в целом. При работе машиностроительного производства всегда существует риск возникновения нештатных ситуаций, так как данная отрасль связана с технологическим производством при высоких давлениях, при использовании растворов электролитов, требующих особое внимание при применении, а также особые меры при утилизации и нейтрализации компонентов технологии. Часто встречаются основные виды разрушения изделия такие, как коррозионное растрескивание и электрохимическая коррозия, также распространены биокоррозия, газовая коррозия и коррозия в неэлектролитах (химическая коррозия). Любой вид коррозии приводит к интенсивному износу оборудования и сокращению его срока службы, что негативно сказывается на промышленной безопасности в машиностроении. Хотя большинство специалистов сосредотачивают свое внимание на материальных потерях от коррозии, необходимо также учитывать угрозу безопасности эксплуатации оборудования, которая может привести к авариям на опасных производственных объектах.

Изучим основные проблемы, вызывающие причины сбоя технологического оборудования в период работы производства машиностроения.

Причины возникновения поломок и повреждений оборудования площадок авиамашиностроения:



Известные данные крупных аварий предприятий концерна «Стирол» и Авдеевского коксохимического завода (АКХЗ) (рис. 1), с последующим ущербом самого производства и прилегающих территорий, заставляет уделять повышенное внимание предварительным проектным расчётам необходимых предупреждающих защитных мер и технических оснащений, обеспечивающих нужный уровень защищённости предприятий.

«Концерн Стирол» - крупнейший на Украине производитель минеральных удобрений, который поставляет на мировой рынок 3% аммиака и карбамида, полимерных материалов и изделий из них. Завод оказался в зоне проведения АТО (в Горловке) и приостановил свою деятельность 8 мая по решению руководства.

Серьезные проблемы с электроснабжением из-за попадания снарядов во время боевых действий испытывал Авдеевский коксохимический завод

(АКХЗ), линии электропередач (ЛЭП) были повреждены в середине августа. 17 и 18 августа 2014 г. сотрудники завода пытались восстановить электроснабжение, однако отремонтированные участки ЛЭП снова были повреждены в результате артобстрелов. Коксовые батареи приходилось разогревать газом, чтобы сохранить их дееспособность.



а)

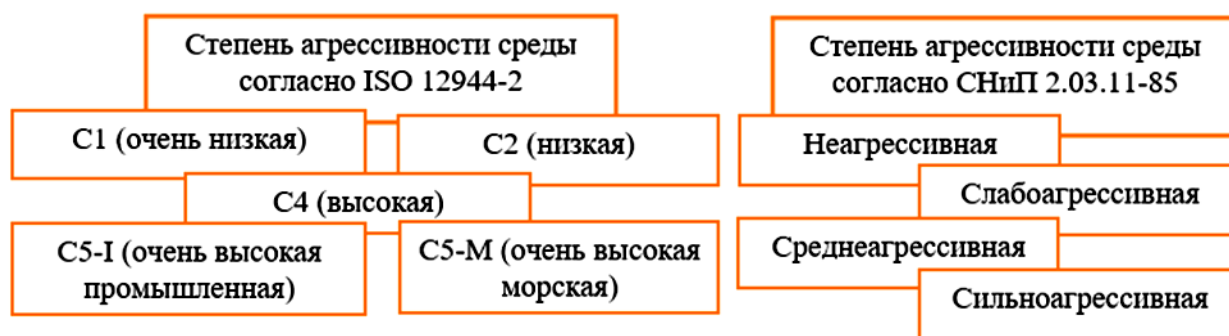


б)

Рис. 1. Примеры аварий на промышленных комплексах производства:
а) Концерн «Стирол»; б) Авдеевский коксохимический завод (АКХЗ)

Основным фактором, составляющим 70% от всех причин возникновения нештатных аварийных ситуаций, был и остаётся человеческий. Изучение общей статистики по недопущению и предотвращению экстренных ситуаций позволяет сделать заключение, что при первоначальном проектировании предприятия должно предусматриваться комплексное и обще охватывающее требование к защите предприятий и отдельных комплексов обработки.

Рассматривая моменты, что после военных операций грунтовые воды и поверхностные слои почвы будут насыщены большим количеством компонентов, наносящих большой урон оборудованию, находящемуся как на небольшом расстоянии от поверхности земли, так и внутри грунта. Основным видом защиты остаётся для трубопроводов химической, нефтегазовой, энергетической, авиационной промышленности – это создание комплексов, включающих в себя меры защиты материалов от коррозии в зависимости от класса агрессивности среды:



Так как мы знаем, что скорость грунтовой коррозии и характер изменения ее во времени сильно зависят как от природы металлов и от грунтовых условий, в особенности от растворимости и защитных свойств вторичных продуктов коррозии, то агрессивность грунта увеличится в несколько раз (рис. 2). Особенно резко повышается скорость коррозии металлов при оттаивании грунтов или почв и резко замедляется при замерзании грунтовой воды. Различие температур на отдельных участках протяженных подземных сооружений может привести к возникновению термогальванических коррозионных макропар с соответствующим местным усилением коррозии [2-8]. Так, если при работе микропар плотные, воздухонепроницаемые грунты являются наименее агрессивными, то при работе макропар неравномерной аэрации наибольшей коррозии подвергаются участки протяженных металлических конструкций (например, трубопроводов), находящихся именно в этих грунтах.

Для защиты подземных сооружений применение покрытий часто оказывается недостаточным, поэтому необходимо использовать сочетание комплекса мероприятий с электрохимической катодной защитой [9-15]. Катодная защита в сочетании с защитными покрытиями весьма экономична и может осуществляться в двух вариантах: а) с использованием внешних источников тока (аккумуляторных батарей, селеновых выпрямителей, генераторов постоянного тока (рис. 3); б) с применением протекторов из металлов с электродным потенциалом более отрицательным, чем у стали (магний, цинк, алюминий или их сплавы).

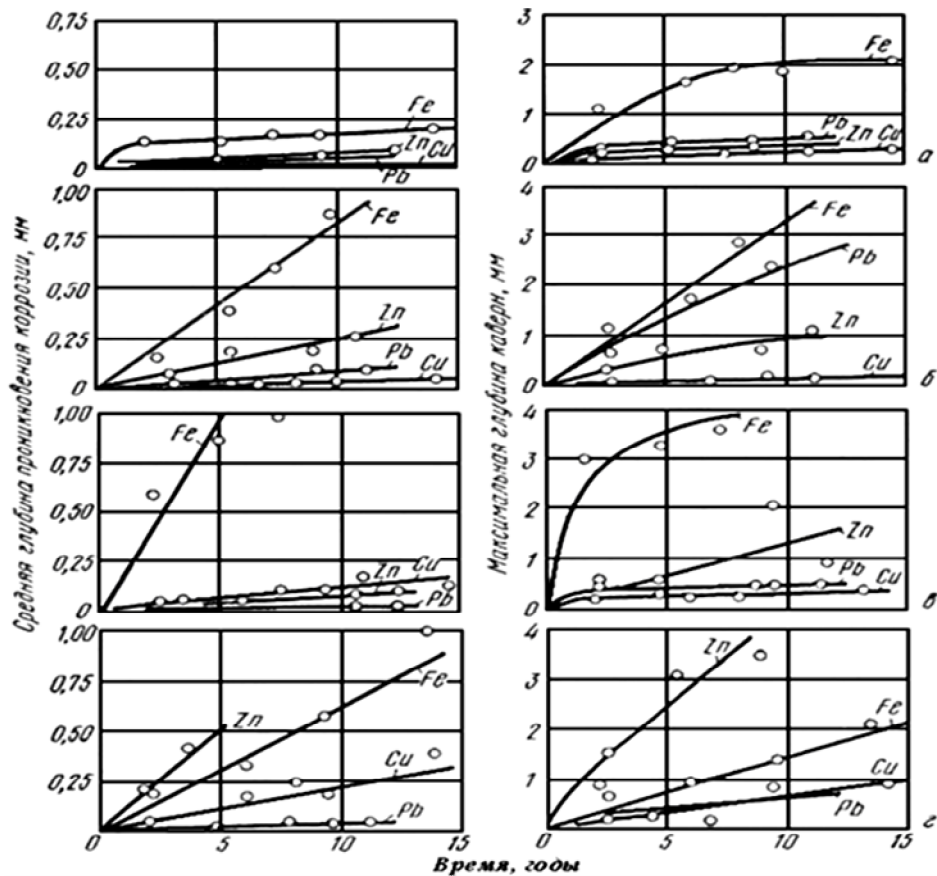


Рис. 2. Зависимость от времени средней и максимальной глубин проникновения коррозии для Fe, Cu, Pb и Zn в четырех грунтах: *а* – суглинок, отлично аэрируемый, с низким содержанием растворимых солей; *б* – глина, очень слабо аэрируемая, нейтральная, с умеренным содержанием растворимых солей и восстановительными свойствами; *в* – глина, хорошо аэрируемая, щелочная с высоким содержанием хлоридов и восстановительными свойствами в периоды обильного выпадения осадков; *г* – торф, слабо аэрируемый, сильно кислый, с высоким содержанием, сульфатов и восстановительными свойствами в периоды обильного выпадения осадков

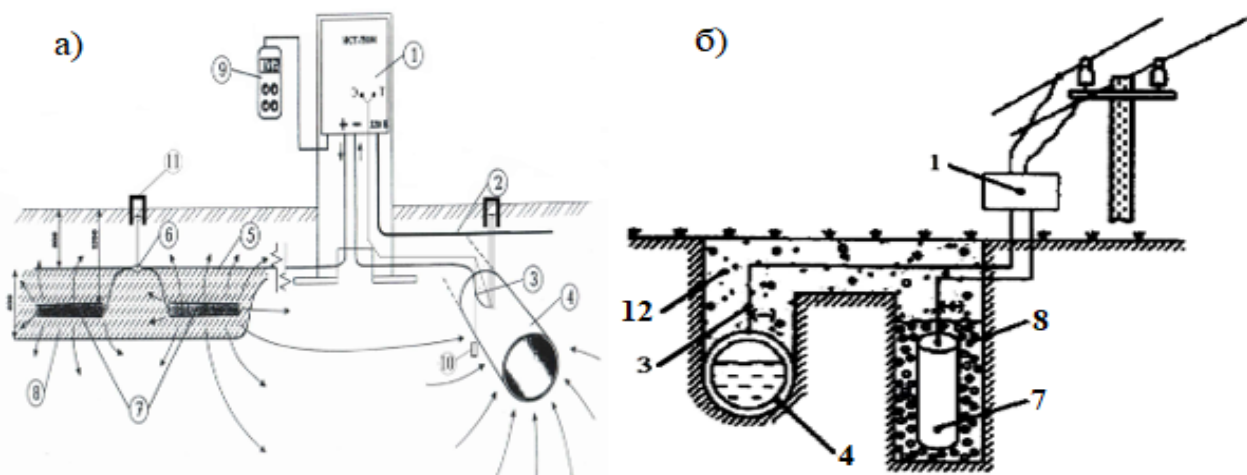


Рис. 3. Электрохимическая катодная защита подземного трубопровода:
 1 – источник стабилизированного тока ИСТ-750М, 2 – силовое подсоединение,
 3 – подвод защитного тока (минус), 4 – защищаемый трубопровод, 5 – анодный кабель (плюс), 6 - муфта, 7 – анодные заземлители, 8 – коксовая обсыпка, 9 – терминал ИСТ-750М,
 10 – медносульфатный электрод длительного действия типа ЭНЕС-1, 11 – ковер КУ (контактное устройство), 12 – грунт

Большой урон оборудованию, находящемуся в подземном грунте, наносят блуждающие токи. Очень часто такие проблемы возникают для маршрутных магистралей трубопроводов или кабельных прокладок подачи электричества в труднодоступные участки рабочих объектов. Сталкиваясь с подземным металлическим сооружением, ток входит в него (образуется зона площадки катодного процесса, что приводит к подщелачиванию грунта, зачастую с выделением водорода) и течет по объекту, пока не встречаются благоприятные условия его возвращения на токопроводящую поверхность на земле. В месте стекания тока с сооружения происходит усиленное анодное растворение металла, прямо пропорциональное величине тока. Блуждающие токи имеют радиус действия до десятков километров в сторону от токонесущих конструкций, например, рельсовых путей.

Источниками блуждающих токов могут быть линии электропередачи системы провод-земля, электролизеры и гальванические ванны, катодные установки, работающие сварочные агрегаты, заземления постоянного тока и т. п. Среднесуточная плотность токов утечки более $0,15 \text{ мА/дм}^2$, определено как опасный показатель. В таких зонах подземные металлические сооружения нуждаются в специальных методах защиты от коррозии блуждающими токами. Ситуации, вызванные блуждающими токами, провоцируют вывод из строя незащищенных сооружений порою на длительное время (несколько месяцев), что недопустимо при работе теплотехнического оборудования (отопительных объектов), нефте- и нефтегазовых перегонных трубопроводов, авиационных лётных и производственных площадок, требующих постоянного подогрева.

Установившаяся скорость сложного процесса коррозии, соответствующая силе получаемого тока I определяется сопротивлением отдельных стадий омического сопротивления R и поляризуемостей анодного P_a и катодного P_k процессов, образующихся на поверхности изделия микрогальванопары. При определении скорости окисления изделия с учётом значений катодной ΔV_k и анодной ΔV_a поляризации находится начальная разность потенциалов электродных процессов $E_{\text{обр}} = (V_k)_{\text{обр}} - (V_a)_{\text{обр}}$:

$$I = \frac{(V_k)_{обр} - (V_a)_{обр}}{R + P_a + P_k}, \quad (1)$$

где $(V_k)_{обр}$, $(V_a)_{обр}$ – омические сопротивления катодной и анодной поляризации.

Для нахождения разности потенциалов к расчётам граничных условий применимости степени защиты рассчитываем, исходя из:

$$(V_k)_{обр} - (V_a)_{обр} = I \cdot (R + P_a + P_k) = \Delta V_R + \Delta V_a + \Delta V_k. \quad (2)$$

Контролирующим процессом, определяющим кинетику скорости коррозии и в дальнейшем определения режимов электрозащиты, берём для аналитических расчётов показатели зависимостей:

$$V_a = f(I) \text{ и } V_k = f(i_k), \quad (3)$$

где V_a , V_k – эффективный потенциал электродов на аноде и катоде соответственно; i – плотность тока. Для общего процесса степень контроля (C_a) анодного, (C_k) катодного и (C_R) омического определяется долей сопротивления этой ступени по отношению к общему сопротивлению всего процесса:

$$C_a = \frac{P_a}{R + P_a + P_k} = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_R + \Delta V_a + \Delta V_k} = \frac{\Delta V_a}{(V_k)_{обр} - (V_a)_{обр}}; \quad (4)$$

$$C_k = \frac{P_k}{R + P_a + P_k} = \frac{\Delta V_k}{\Delta V_R + \Delta V_a + \Delta V_k} = \frac{\Delta V_k}{(V_k)_{обр} - (V_a)_{обр}}; \quad (5)$$

$$C_R = \frac{R}{R + P_a + P_k} = \frac{\Delta V_R}{\Delta V_R + \Delta V_a + \Delta V_k} = \frac{\Delta V_R}{(V_k)_{обр} - (V_a)_{обр}}. \quad (6)$$

Для повышения стабильности и надёжности создаваемых систем защиты оборудования от разрушений нужно применять в совокупности несколько методов, которые охватывают все возникшие причины нестабильности вокруг работающего оборудования в тех или иных нештатных условиях. Приемлемым

является использованием не одного метода, а нескольких взаимодублирующих и контролирующих средств защиты, то есть комбинированные методы:



Обеспечение защиты, как от сейсмических изменений, так и от воздействия сильной агрессивной среды обеспечивается применением специальных методов укладки подземных сооружений. Особые методы укладки позволяют защищать изделия от воздействия грунта и грунтовых вод: трубопроводы и кабели размещают на неметаллических подкладках в специальном коллекторе или защитном кожухе из металла или железобетона. Наиболее эффективными проявили себя дренажные установки, которые при включении в схемы защиты позволяют отводить блуждающие токи из анодной зоны подземного сооружения в рельсовую сеть или на отрицательную шину тяговой подстанции (рис. 4). Прямой дренаж имеет двухстороннюю проводимость (рис. 4, а), поэтому он присоединяется только к отсасывающему пункту или к отрицательной шине тяговой подстанции. Поляризованный дренаж (рис. 4, б) имеет проводимость в одном направлении и применяется в том случае, когда потенциал защищаемого сооружения по отношению к рельсам и земле положительный или знакопеременный. Усиленный дренаж (рис. 4, в) представляет собой катодную установку, в которой отрицательный полюс присоединен к защищаемому подземному сооружению.

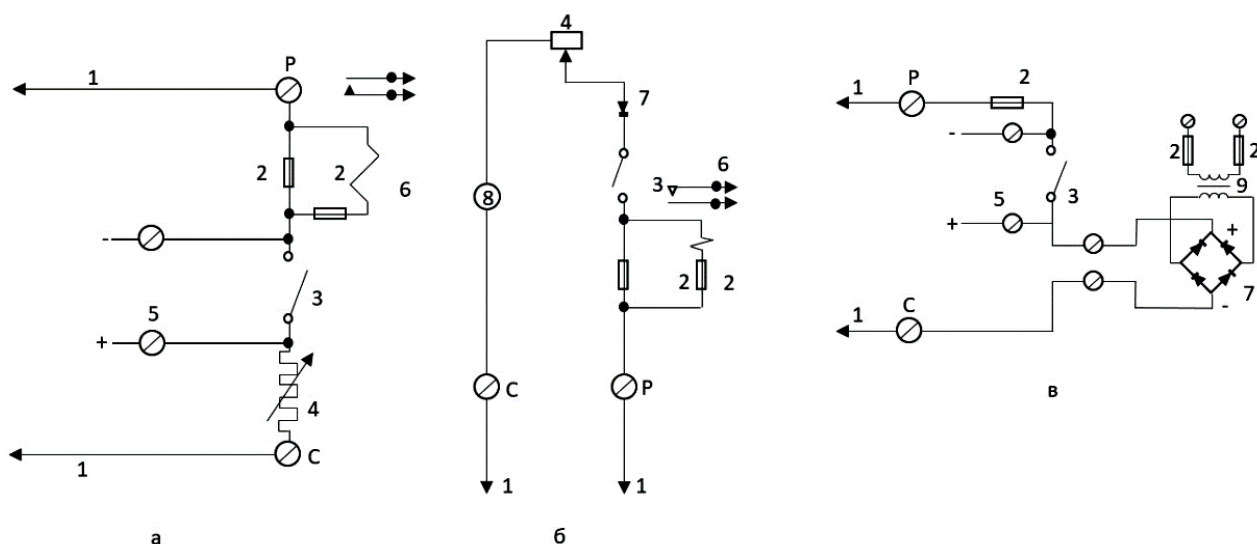


Рис. 4. Схемы дренажей: а - прямого, б - поляризованного; в - усиленного; 1 - дренажный кабель; 2 - плавкий предохранитель; 3 - рубильник; 4 - реостат; 5 - зажимы для переносного амперметра; 6 - реле сигнализации; 7 - выпрямитель; 8 - амперметр; 9 - трансформатор; P - рельс; C - сооружение

Зарекомендовавшим себя, как одним из эффективных методов, проверенных на практике за последние десятилетия [2, 10, 15-19], является комбинированное применение схем токоотводов и секционирования для подземных объектов. При наличии устойчивых анодных зон на трубопроводе разрушение может быть перенесено на специальное заземление (токоотвод) с низким сопротивлением растеканию тока. Поступающий в трубопровод ток выходит в грунт через заземление, которое при этом разрушается.

Секционирование трубопроводов осуществляется с помощью изолирующих вставок (рис. 5), монтируемых на базе стандартного фланцевого соединения с использованием резиновой прокладки и текстолитовых втулок и шайб. Секционирование приводит к образованию распределенных катодных и анодных зон, число которых пропорционально количеству изолирующих фланцев. В случае секционирования токоотводы устанавливаются вблизи изолирующей вставки для устранения вредного влияния обтекающего фланец блуждающего тока, уменьшенного по величине благодаря секционированию.

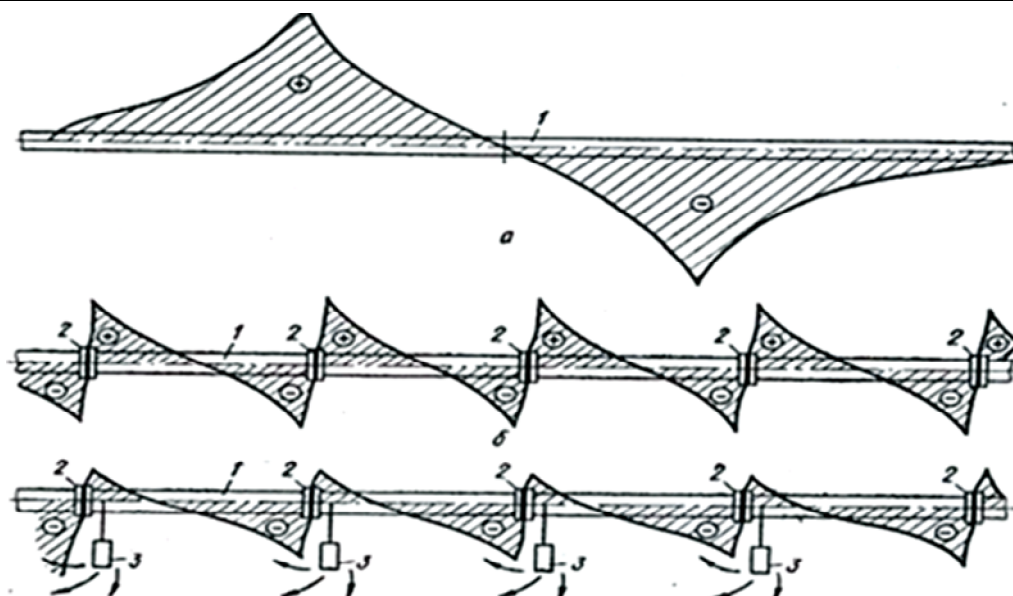


Рис. 5. Схема действия изолирующих вставок и токоотводов; а - до установки изолирующих вставок; б - после установки изолирующих фланцев; в - то же, после установки токоотводов; 1 - трубопровод; 2 - изолирующая вставка; 3 - токоотвод, + - вводная зона, - - катодная зона

Наиболее эффективным средством защиты металлических конструкций от коррозии блуждающими переменными токами является метод поляризованных (присоединенных к защищаемому сооружению через полупроводниковые диоды) протекторов и дренажей; он дает возможность снять с корродирующих металлических конструкций анодный полупериод переменного тока и оставить на них катодный полупериод, который обеспечивает их катодную защиту.

Учитывая напряжённость работы оборудования машиностроительного производства, а также особые условия работы и ответственность каждой составляющей цепочки той или иной технологической линии создания оборудования или комплекса объекта авиастроения, необходимо проводить установленные сводом правил согласно ГОСТам: повторные диагностические мероприятия износа, вводить курирующие альтернативные методы диагностики участков эксплуатируемых площадок, мониторить прочностные показатели оборудования на возникновение эффекта стресс-коррозии [5-10, 19]. Получать и анализировать достоверность данных по полученным оценкам остаточного технического состояния объектов диагностики.

Заключение. Стремительное развитие производства машиностроения и авиастроения вынуждает параллельно учитывать и разрабатывать методы защиты и обеспечения безотказной работы данных комплексов, так как любая нештатная ситуация на площадках современных проектных технологических объектах приведёт к большим социальным и экономическим потерям. Восстановительные работы таких объектов требуют колоссальных затрат по времени, что в свою очередь сказывается на материальных потерях и существенно тормозит процесс производства на объектах.

Введение современных комплексных методов мониторинга по обследованию объектов производства машиностроения с дальнейшей обработкой данных исследования на программных носителях контроля и рекомендации по созданию комплексной защиты сочетания дублирующих нескольких способов позволяет не допускать срыв производственной деятельности.

Список литературы

1. Плисеина Е.А. Разработка методических основ эколого-геологического мониторинга / Е.А. Плисеина, Л.Б. Сафонова, И.М. Винокурова // В сб. тр. XVI Международной научно-практической конференции: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Кампания «Мой город готовится»: задачи, проблемы, перспективы. 2020. – С. 188-190.

2. Саломатин В.В., Лихобабин Р.Ю., Винокурова И.М. Расчет параметров применения катодной защиты от внешнего источника тока / В.В. Саломатин, Р.Ю. Лихобабин, И.М. Винокурова //Сборник труд: Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа: сб. науч. тр. /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга». – Воронеж. 2021. – С.114-123.

3. Саломатин В.В., Винокурова И.М., Куликова О.В. Антикоррозионные материалы для защиты нефти и газотрубопроводов от коррозии / В.В. Саломатин, Р.Ю. Лихобабин, И.М. Винокурова // сборник тр. XVIII международная

научно-практическая конференция. «Гражданская оборона и природно-технические системы. – Воронеж, 2022. – С. 432-436.

4. Алехин В.Ю., Абдулахунов А.А., Винокурова И.М. Расчет протекторной защиты нефтегазопровода / В.Ю. Алехин, А.А. Абдулахунов, И.М. Винокурова // сб. науч. тр. Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Вып. 11. – Воронеж. 2022. –С. 150-139.

5. Алехин В.Ю., Абдулахунов А.А., Винокурова И.М. Расчет протекторной защиты нефтегазопровода / В.Ю. Алехин, А.А. Абдулахунов, И.М. Винокурова // сб. науч. тр. Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Вып. 11. – Воронеж. 2022. – С. 130-139.

6. Милютин А.М., Наумова Ю.С., Винокурова И.М. Методы предотвращения аварий на магистралях нефтегазопроводов / Ю.С. Наумова, А.М. Милютин, И.М. Винокурова // сб. науч. тр. Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Вып. 11. – Воронеж. 2022. – С. 140-149.

7. Яковлева Д.М. Предотвращение внештатных аварийных ситуаций на нефтегазовых предприятиях / Д.М. Яковлева, И.М. Винокурова, С.Н. Букша // Химия, физика и механика материалов. 2023. № 3 (38). – С. 113-129.

8. Горожанкина О.В., Винокурова И.М., Кадырметов А.М. К вопросу об особенностях структуры покрытия железа повышенной толщины, полученных электрогальваническим методом с механическим послойным упрочнением / О.В. Горожанкина, И.М. Винокурова, А.М. Кадырметов // Воронежский научно-технический Вестник. 2021. Т. 1. № 1 (35). С. 18-24.

9. Vinokurova I., Khlopovskikh E., Tychinina A., Safonova L. Mathematical modeling of anodic oxidation and cathodic reduction of metals prone to passivation,

taking into account the peculiarities of heat and mass transfer in the ieg under pulsed modes. Key Engineering Materials. 2022. Т. 910 КЕМ. С. 529-537.

10. Винокурова И.М. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учеб. пособ./И.М. Винокурова. Воронеж, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». 2016. Ч. 2. 225 с.

11. Гребенщиков Н.Д., Бородина В.С. Способы решения проблем защиты оборудования от коррозии / Н.Д. Гребенщиков, В.С. Бородина, И.М. Винокурова // Сб. науч. тр. Всерос. науч.-технич. конф.: Современные технологии, материалы и техника. – Воронеж, 2023. – С. 189-195.

12. Винокурова И.М., Спиридонов Б.А. Исследование коррозионно-электрохимического поведения родированного титана в кислой среде/ И.М. Винокурова, Б.А. Спиридонов //В сбор.: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвуз, сбор, науч. тр. ГОУВПО «Воронежский гос. технический ун-т» Междунар. акад. наук экологии безопасности человека и природы. – Воронеж, 2008. – С. 162-165.

13. Винокурова И.М., Скозубенко Е.В. Особенности высокомолекулярного окисления металлов с учетом образования оксидных пленок/ И.М. Винокурова, Е.В. Скозубенко //В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвузовский сборник научных трудов. Воронежский государственный технический университет, Международная академия наук экологии безопасности человека и природы; Ч. II . – Воронеж, 2006. – С. 55-60.

14. Шалимов Ю.Н., Винокурова И.М. Восстановление деталей машин в условиях импульсного электролиза / Ю.Н. Шалимов, И.М. Винокурова, Е.Н. Островская, Ю.В. Литвинов, М.А. Лесных // В сборнике: Современная электро-технология в промышленности центра России: Труды VII региональной научно-технической конференции. 2004. – Тула: ТулГУ. – С. 90-95.

15. Винокурова И.М. Защита теплотехнического оборудования от коррозии: учеб. пос. ГОУВПО. Воронежский государственный технический университет. Ч. I. – Воронеж. ВГТУ. 2011. 280 с.

16. Винокурова И.М., Спиридонов Б.А. Исследование коррозионно-электрохимического поведения родированного титана в кислой среде / И.М. Винокурова, Б.А. Спиридонов // В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвузовский сборник научных трудов. ГОУВПО «Воронежский гос. технический ун-т» Междунар. акад. наук экологии безопасности человека и природы. Ч. 1. Воронеж, 2008. С. 162-165.

17. Дворядкина Д.Ю., Лапунина Т.В., Винокурова И.М. Присадки для топлива и октановое число / Д.Ю. Дворядкина, Т.В. Лапунина, И.М. Винокурова // В сборнике: Химия, новые материалы, химические технологии. межвузовский сборник научных трудов. Воронеж, 2016. С. 136-140.

18. Винокурова, И.М. Коррозионно-электрохимическое поведение титана, сплава ВТЗ-1 и родированного титана [Текст] / И.М. Винокурова, Б.А. Спиридонов // Вестник Воронежского государственного технического университета. Т. 4, № 5. 2008. С. 53-55.

19. Винокурова И.М. Основы физико-химических методов противокоррозионной защиты теплотехнического оборудования от коррозии / И.М. Винокурова // учеб. пос. – Воронеж, 2009. Том Ч. I. 320 с.

References

1. Pliseina E.A. Development of methodological foundations of ecological and geological monitoring / E.A. Pliseina, L.B. Safonova, I.M. Vinokurova // In the collection of tr. XVI International Scientific and Practical Conference: Complex problems of technosphere safety. The campaign «My city is getting ready»: tasks, problems, prospects. 2020. Pp. 188-190.

2. Salomatin V.V., Likhobabin R.Yu., Vinokurova I.M. Calculation of the parameters of the application of cathodic protection from an external current source / V.V. Salomatin, R.Yu. Likhobabin, I.M. Vinokurova // Collected work: Hydraulic machines and systems of oil and gas transportation: sb. nau. tr. /JSC «Research Institute of Blade Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», – Voronezh. 2021. – С.114-123.

3. Salomatin V.V., Vinokurova I.M., Kulikova O.V. Anticorrosive materials for protecting oil and gas pipelines from corrosion / V.V. Salomatin, R.Yu. Likhobabin, I.M. Vinokurova // collection of tr. XVIII International scientific and practical conference. «Civil defense and natural-technical systems». Voronezh, 2022. Pp. 432-436.
4. Alekhin V.Yu., Abdulakhunov A.A., Vinokurova I.M. Calculation of the tread protection of the oil and gas pipeline / V.Yu. Alekhin, A.A. Abdulakhunov, I.M. Vinokurova // sb. nau. tr. Hydraulic machines and oil and gas transportation systems /JSC «Research Institute of Paddle Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», Issue 11. - Voronezh. 2022. Pp. 150-139.
5. Alekhin V.Yu., Abdulakhunov A.A., Vinokurova I.M. Calculation of the tread protection of the oil and gas pipeline / V.Yu. Alekhin, A.A. Abdulakhunov, I.M. Vinokurova // sb. nau. tr. Hydraulic machines and oil and gas transportation systems /JSC «Research Institute of Paddle Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», Issue 11. - Voronezh. 2022. Pp. 130-139.
6. Milyutin A.M., Naumova Y.S., Vinokurova I.M. Methods of preventing accidents on oil and gas pipelines / Yu.S. Naumova, A.M. Milyutin, I.M. Vinokurova // sb. nau. tr. Hydraulic machines and oil and gas transportation systems /JSC «Research Institute of Paddle Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», Issue 11. - Voronezh. 2022. Pp. 140-149.
7. Yakovleva D.M. Prevention of emergency situations at oil and gas enterprises / D.M. Yakovleva, I.M. Vinokurova, S.N. Buksha // Chemistry, physics and Mechanics of materials. 2023. No. 3 (38). Pp. 113-129.
8. Gorozhankina O.V., Vinokurova I.M., Kadyrmetov A.M. On the question of the features of the structure of the coating of iron of increased thickness obtained by electrogalvanic method with mechanical layer-by-layer hardening / O.V. Gorozhankina, I.M. Vinokurova, A.M. Kadyrmetov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. 2021. Vol. 1. No. 1 (35). Pp. 18-24
9. Vinokurova I., Khlopovskikh E., Tychinina A., Safonova L. Mathematical modeling of anodic oxidation and cathodic reduction of metals prone to passivation,

taking into account the peculiarities of heat and mass transfer in the ieg under pulsed modes. Key Engineering Materials. 2022. Vol. 910 KEM. Pp. 529-537.

10. Vinokurova I.M. Corrosion and protection of equipment from corrosion: textbook. Manual / I.M. Vinokurova. Voronezh, Voronezh State Technical University. 2016. Part 2. 225 p.

11. Grebenschikov N.D., Borodina V.S. Ways to solve problems of equipment protection from corrosion / N.D. Grebenschikov, V.S. Borodina, I.M. Vinokurova // Sb. nauch. tr. All-Russian scientific and technical conference: Modern technologies, materials and equipment. Voronezh, 2023. Pp. 189-195.

12. Vinokurova I.M., Spiridonov B.A. Investigation of the corrosion-electrochemical behavior of rhodated titanium in an acidic environment/ I.M. Vinokurova, B.A. Spiridonov //In collection: Life support and management systems in emergency situations. mezhvuz, collection, scientific tr. GOVPO «Voronezh State Technical University» International. Academy of Sciences of Ecology, Human safety and Nature. Voronezh, 2008. Pp. 162-165.

13. Vinokurova I.M., Skozubenko E.V. Features of high-molecular oxidation of metals taking into account the formation of oxide films/ I.M. Vinokurova, E.V. Skozubenko //In the collection: Life support and management systems in emergency situations. intercollegiate collection of scientific papers. Voronezh State Technical University, International Academy of Sciences of Ecology, Human Safety and Nature; Part II. Voronezh, 2006. Pp. 55-60

14. Shalimov Yu.N., Vinokurova I.M. Restoration of machine parts in conditions of pulsed electrolysis / Yu.N. Shalimov, I.M. Vinokurova, E.N. Ostrovskaya, Yu.V. Litvinov, M.A. Lesnykh // In the collection: Modern electrical technology in the industry of the center of Russia: Proceedings of the VII Regional Scientific and Technical Conference. 2004. -Tula: TulSU. Pp. 90-95.

15. Vinokurova I.M. Protection of heat engineering equipment from corrosion: study. village GOUVPO. Voronezh State Technical University. Ch.I. Voronezh. VSTU. 2011. 280 P. 16. Vinokurova I.M. Corrosion and protection of equipment from corrosion: «Voronezh. the state. technical. un-t», Voronezh, 2016. Vol. 2. 254 p.

16. Vinokurova I.M., Spiridonov B.A. Investigation of the corrosion-electrochemical behavior of rhodated titanium in an acidic environment / I.M. Vinokurova, B.A. Spiridonov // In the collection: Life support and management systems in emergency situations. intercollegiate collection of scientific papers. GOUVPO «Voronezh State Technical University» International. Academy of Sciences of Ecology, Human Safety and Nature. Part 1. Voronezh, 2008. Pp. 162-165.

17. Dvoryadkina D.Yu., Lapunina T.V., Vinokurova I.M. Fuel additives and octane number / D.Yu. Dvoryadkina, T.V. Lapunina, I.M. Vinokurova // In the collection: Chemistry, new materials, chemical technologies. intercollegiate collection of scientific papers. Voronezh, 2016. pp. 136-140.

18. Vinokurova, I. M. Corrosion-electrochemical behavior of titanium, VT3-1 alloy and rhodated titanium [Text] / I.M. Vinokurova, B. A. Spiridonov// Bulletin of the Voronezh State Technical University. Vol. 4, No. 5. 2008. Pp. 53-55.

19. Vinokurova I.M. Fundamentals of physico-chemical methods of anticorrosive protection of thermal equipment from corrosion / I.M. Vinokurova // ucheb. pos. Voronezh, 2009. Volume C. I. 320 c

Винокурова Ирина Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Бородина Влада Сергеевна – студентка 4-го курса, группа БТМ-201, факультет Машиностроения и аэрокосмической техники Воронежского государственного технического университета

Гребенщиков Никита Дмитриевич – студент 2-го курса, группа БКТО-221, факультет Машиностроения и аэрокосмической техники Воронежского государственного технического университета

Букша Сергей Николаевич - канд. техн. наук, старший преподаватель Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

504.064.47

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В БОРЬБЕ С СОКРАЩЕНИЕМ ОБЪЕМОВ СТРОИТЕЛЬНОГО МУСОРА

М.И. Борисова, А.С. Баранова, К.А. Букенина, Д.С. Склярова,*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Борисова Марина Ивановна, E-mail: Ser6812@yandex.ru*

Статья посвящена исследованию сокращению объемов свалок, способов уменьшения фильтрата, снижению выброса углекислого газа и продвижению технологии строительства замкнутого цикла, кроме этого рассмотрено снижение стоимости строительства в сложных гидрогеологических условиях. Проанализировав ФЗ-89, мы видим, что новые нормативные акты противоречат законам нашей страны. Установлена причина увеличения количества свалок ТБО-рост объемов мусора (40-70% которого составляют строительные отходы). Продвигаемый метод переработки не справляется с его объемами и служит причиной возникновения фильтрата (жидкие отходы, образующиеся в результате взаимодействия ТБО с органическими веществами на мусорных свалках). В качестве сокращения объемов строительного мусора и, как следствие, фильтрата, мы рассмотрели способы решения проблем: джентрификация, поэлементный демонтаж, технология строительства замкнутого цикла. По возможности нужно переходить к джентрификации, но она есть не всегда, поэтому можно использовать поэлементный демонтаж. Он делает возможным строительство по технологии замкнутого цикла с повторным применением строительных конструкций. Данный метод строительства позволяет также сократить себестоимость квадратного метра жилья малоэтажных жилых зданий. Предложены способы популяризации строительства методом замкнутого цикла.

Ключевые слова: замкнутый цикл, полигоны ТБО, фильтрат, мусорная реформа, джентрификация, экология

ADVANTAGES OF USING CLOSED CYCLE TECHNOLOGY IN THE FIGHT REDUCING CONSTRUCTION WASTE VOLUME

M.I. Borisova^{}, A.S. Baranova, K.A. Bukenina, D.S. Sklyarova*

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84,

**Corresponding author: Borisova Marina Ivanovna, E-mail: Ser6812@yandex.ru*

The article is devoted to the study of reducing landfill volumes, ways to reduce filtrate, reduce carbon dioxide emissions and promote closed-loop construction technology, in addition, reducing the cost of construction in difficult hydrogeological conditions is considered. Having analyzed FZ-89, we see that the new regulations contradict the laws of our country. The reason for the increase in the number of landfills has been established -an increase in the volume of garbage (40-70% of which is construction waste). The promoted recycling method does not cope with its volumes and causes the appearance of filtrate (liquid waste formed as a result of the interaction of solid waste with organic substances in landfills). As a way to reduce the volume of construction debris and, as a result, filtrate, we considered ways to solve problems: gentrification, piecemeal dismantling, closed-loop construction technology. If possible, you need to move on to gentrification, but it is not always there, so you can use piecemeal dismantling. It makes it possible to build using closed-loop technology with repeated use of building structures. This construction method also allows you to reduce the cost per square meter of low-rise residential buildings. The methods of popularization of closed-loop construction are proposed.

Keywords: closed cycle, landfills, filtrate, garbage reform, gentrification, ecology

Введение. В мире 3,3 млрд. человек уязвимы к последствиям изменения климата, каждая четвертая смерть в мире происходит по предотвратимым экологическим причинам, а «изменение климата еще больше усугубляет эти риски».

Одна из экологических проблем – увеличение количества свалок ТБО (Твёрдые бытовые отходы).

Увеличение свалок твердых бытовых отходов (ТБО) влияет на здоровье человека по нескольким причинам:

1. Загрязнение окружающей среды: Увеличение объемов свалок ТБО может приводить к загрязнению почвы, воды и воздуха. Вещества, содержащиеся в отходах, такие как токсичные химические вещества, тяжелые металлы, фильтрат, могут проникать в окружающую среду и представлять опасность для человека.

2. Воздействие на дыхательную систему: Сгорание отходов на свалках может вызывать выделение опасных газов, включая диоксин, продукты сгорания пластика и других материалов. Вдыхание таких газов может вызывать проблемы с дыхательной системой, а также кожные заболевания и раздражение глаз.

3. Воздействие на пищевую цепь: Растения и животные, живущие рядом со свалками ТБО, могут поглощать токсичные вещества из отходов, и таким образом, попадать в пищевую цепь. Если люди употребляют такие продукты, они могут испытывать отрицательное воздействие на свое здоровье.

4. Утечка фильтрата – это жидкие отходы, которые образуются в результате скопления воды на мусорных свалках и полигонах твердых бытовых отходов (ТБО). Опасность фильтрата заключается в том, что он может проникать в грунтовые воды, загрязняя их и делая непригодными для питья.

Причиной роста количества свалок ТБО является увеличение объемов мусора, которые по сравнению с СССР выросли в 17 раз.

В Советском Союзе тысячи предприятий занимались промышленной переработкой основных видов вторичного сырья. Ключевым фактором всей инфраструктуры переработки отходов были советские люди. За сдачу отходов можно было получить награды, благодарственные грамоты или даже льготную путёвку в летний лагерь, а также денежный эквивалент.

В строительной сфере СССР использование материальных ресурсов было развито, а также существовал ЕНиР, позволяющий строителям повторно использовать строительные материалы, изделия и конструкции, самостоятельно определяя их пригодность для эксплуатации. Также существовал закон, осво-

бождающий владельцам частных домов, созданных с повторным применением стройматериалов, избегать налогов на имущество. Такая ситуация позволяла исключить понятие «строительные отходы».

Согласно статистике, от 40 до 70% всех отходов на свалках составляют строительные отходы 3-5 класса опасности, которые образуются при механическом сносе зданий. Это означает, что ежегодно в мире образуется от 100 до 170 млн. тонн строительных отходов 3-5 класса опасности. Перед строителями возникает вопрос: «Как улучшить экологическую ситуацию в нашей стране?».

Помимо экологии, современный человек сталкивается с проблемой подорожания строительства малоэтажных зданий из-за увеличения стоимости строительных ресурсов. К примеру: за последнее время цемент вырос на 20%, а арматура - на 60%, что в свою очередь отражается на стоимости 1 м² жилья.

Этот вопрос можно решить за счет строительства в сложных гидрогеологических условиях с высоким уровнем грунтовых вод, так как земля будет стоить намного дешевле, а также использовать недорогие строительные материалы, которыми могут являться только материалы, образующиеся при поэлементном демонтаже зданий.

Цели и задачи исследования

Основными целями и задачами нашего исследования являются:

- сокращение объемов свалок ТБО;
- уменьшение объемов фильтрата;
- снижение выброса углекислого газа в атмосферу земли;
- снижение стоимости строительства малоэтажных зданий в сложных гидрогеологических условиях;
- продвижение и освещение метода строительства замкнутого цикла, который объединяет в себе все вышеперечисленные пункты и позволяет осуществить их реализацию.

Методы исследования

Используя аналитический метод исследования, ознакомившись с нормативной литературой и научными статьями по вопросу борьбы со строительным

мусором, сокращением свалок ТБО и уменьшением объемов выделяемого фильтрата, мы пришли к выводу, что у нас существуют документы, где рассматривается вопрос внедрения технологии замкнутого цикла, ставят её на порядок выше переработки отходов, которая в нашей стране плохо реализуется в связи с огромным количеством строительного мусора и несоразмерным бюджетом, требующимся для её качественного осуществления [10].

Основная часть

В нашей статье мы хотим рассмотреть противоречия, которые возникают на государственном уровне, а именно Федеральному закону «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ.

Ст. 3 «Основные принципы и приоритетные направления государственной политики в области обращения с отходами» вышеуказанного ФЗ приводит направления государственной политики в области обращения с отходами, а также указывает их значимость в следующей последовательности:

- максимальное использование исходных сырья и материалов;
- предотвращение образования отходов;
- сокращение образования отходов и снижение класса опасности отходов в источниках их образования;
- обработка отходов;
- утилизация отходов;
- обезвреживание отходов.

В связи с вышеперечисленными пунктами расположенных по приоритетности, нас заинтересовал ответ Министерства Природных ресурсов и Экологии Российской Федерации (Минприроды России) №25-47/48470 от 15.12.2023.

В соответствии с положениями Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р в целях повышения экономической и экологической безопасности страны предполагается формирование и перспективное развитие отрасли промышленности по обработке, утилизации и

обезвреживанию отходов, обеспечивающей максимальное вовлечение отходов в производство и планомерную минимизацию количества отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, с применением мирового принципа 3R (предотвращение образования отходов, повторное использование, переработка во вторичные ресурсы).

В рамках федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» федеральными органами исполнительной власти разработана отраслевая программа «Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022-2030 годы» в части вовлечения отходов, образующихся при строительстве объектов капитального строительства, транспортной инфраструктуры и сетей инженерно-технического обеспечения, их реконструкции, капитального ремонта, сноса, а также отходов, образующихся при функционировании объектов жилищно-коммунального хозяйства, и отходов иных отраслей в экономический оборот на период до 2030 года» (утверждена Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Абрамченко от 10 октября 2022 г. № 11795п-П11) (далее – отраслевая программа строительные отходы).

Отраслевая программа строительные отходы разработана с целью увеличения количества отходов строительства, вовлекаемых в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья, переданных на утилизацию, сокращение количества отходов строительства, направляемых на захоронение, а также с целью формирования комплексного подхода к обращению с отходами строительства на всех этапах их жизненного цикла и увеличение доли вторичных ресурсов и продукции из вторичного сырья, применяемых в отраслях жилищного, промышленного, гражданского, дорожного строительства и жилищнокоммунального хозяйства.

Из прочитанного следует, что приоритетность действующего закона «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ нарушается и не учитывается главенствующий пункт о максимальном использовании исходного сырья и материалов, хотя в Воронеже активно развивается, а также преподается

в Воронежском государственном техническом университете проектирование из железобетонных конструкциях, которые образовались при поэлементном демонтаже, в качестве фундаментов, подпорных стенок в сложных гидрогеологических условиях с целью экономии ресурсов и затрат на строительство [9].

Таким образом, мы видим, что чиновники в министерствах, курирующие это направление, не в курсе активно развивающихся методов строительства, способных не перерабатывать огромные объемы строительного мусора, а уменьшить их или исключить в принципе такое понятие. Поэтому они создают нормативные акты, которые по факту противоречат законам нашей страны.

Помимо закона «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ, существует также СП 325.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации», в котором приведен поэлементный демонтаж, который превосходит используемый механический по всем показателям, кроме скорости. Поэлементный демонтаж делает возможным такие направления строительства как: джентрификация и технологии замкнутого цикла.

Почему мы призываем к внедрению и массовому использованию технологий замкнутого цикла? Ответ на этот вопрос очень прост. В связи с невыгодностью переработок и утилизации строительных материалов, возникает парадокс: Увеличение строительного мусора и невозможность своевременной переработки и утилизации, приводит к увеличению объема фильтрата (жидкая фракция, которая выделяется на свалках и полигонах для твёрдых бытовых отходов из мусора при его гниении), который выходит на поверхность или посредством всасывания грунтом проникает в водные и лесные ресурсы нашей страны тем самым нарушая экологическую безопасность.

Например, утечка фильтрата произошла в Городецком округе с полигона ТКО, принадлежащего АО «Ситиматик Нижний Новгород». Об этом сообщили местные жители. Речь идёт о мусоросортировочном полигоне, расположенном рядом с деревней Скородум.

Также есть общедоступная информация о крупнейшей утечке фильтрата с мусорного полигона «Ядрово», который отравляет водоносные горизонты всего Волоколамского округа. Следственный отдел по Волоколамску ГСУ СКР по Московской области возбудил уголовное дело по признакам преступления по ч. 2 ст. 247 УК (нарушение правил обращения экологически опасных веществ и отходов) в отношении неустановленных должностных лиц ООО «Ядрово», оператора свалки в подмосковном Волоколамске. Об этом сообщил РБК близкий к следствию источник и подтвердил советник главы Волоколамского городского округа Артем Любимов [13].

Сумма вреда окружающей среде оценивается следствием в 2,6 млн. руб. Осмотр территории свалки показал прорытую траншею и выкопанный искусственный фильтрационный пруд, в которые с территории полигона попал фильтрат. Площадь разлива составила 230 кв. м, объем утечки составил 137 куб. м, утверждают следователи.

Пробы жидкого отхода, собранные 23 и 27 марта в канаве вблизи свалки, соответствуют третьему классу опасности.

Фильтрат – это жидкие отходы, которые образуются в результате скопления воды на мусорных свалках и полигонах твердых бытовых отходов (ТБО). Они возникают из-за осадков, таяния снега, подземных вод и других источников, которые могут проникать в толщу мусора и загрязнять его. Фильтрат содержит множество вредных веществ, таких как бактерии, вирусы, тяжелые металлы, органические загрязнители и другие токсичные элементы. В целом, фильтрат является серьезной экологической проблемой, требующей немедленного решения. Только совместные усилия правительств, предприятий и общественности могут помочь предотвратить дальнейшее загрязнение окружающей среды и обеспечить экологическую безопасность для будущих поколений [3].

Для того, чтобы уменьшить объем свалок строительного мусора одним из наиболее перспективных направлений является джентрификация и капитальный ремонт. Под джентрификацией подразумевают процесс обновления и ре-

конструкции городских кварталов, в результате которого происходит улучшение жилищных и экономических условий.

Развитие городов приводит к тому, что промышленные здания больше не могут находиться в центре, из-за запахов, перевозки продукции и больших логистических задач. Их сносят и заменяют жилыми комплексами. Хотя вместо сноса было бы разумнее использовать джентрификацию. Ее использование значительно снижает стоимость строительства, а также есть возможность производить новую продукцию для строительства в меньших количествах, что очень хорошо не только для экономики, но и для экологии. Так как при производстве одного кубометра железобетонной конструкции выделяется 1800 кг парниковых газов, что негативно влияет на окружающую среду.

Одним из примеров зданий, которое не позволила снести джентрификация, является здание бывшего завода в г. Москва на ул. Большая Новодмитровская, который в настоящее время является дизайн-заводом (рис. 1). На территории здания можно встретить множество растений, что так же положительно влияет на его экологичность. Подробнее про джентрификацию [3].

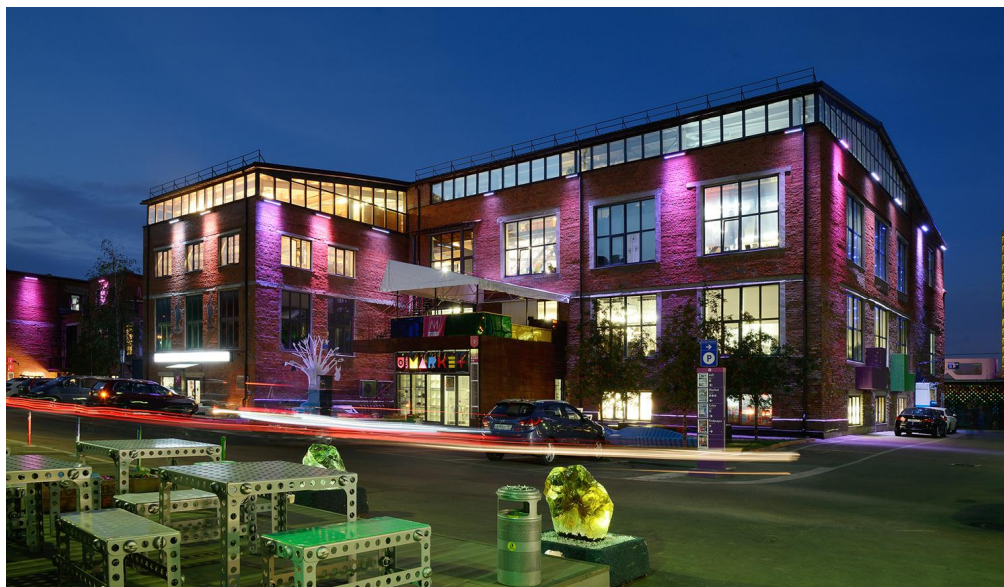


Рис. 1. Пример здания, восстановленного методом джентрификации

Таким образом, мы можем сделать вывод, что джентрификация является самым экологическим и экономически выгодным способом решения затрагиваемых проблем.

Но очень часто выполнить джентрификацию невозможно по разным причинам и в этом случае приходится выполнять снос здания. Основным методом сноса здания в настоящее время является механический демонтаж здания методом обрушения, неправильная организация работ которого, может привести к последствиям, сравнимым с военными действиями (рис. 2)

Этот способ более скоростной, но вместе с тем более опасный, так как после полной чистки идет дробление конструкций, строительная пыль, попадая на полигоны ТБО, при взаимодействии с водой образует фильтрат, вследствие чего возникает экологическая проблема.



Рис. 2. Механический снос методом обрушения

Таким образом, применение механического демонтажа может нарушать Конституцию РФ и ФЗ-89, так как возникающий после него строительный мусор, попадая на свалки ТБО и взаимодействуя с пищевыми отходами, приводит к образованию фильтрата, тем самым подвергая опасности здоровье человека и нанося вред окружающей среде.

В соответствии с СП325.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации» существует второй способ демонтажа: поэлементная разборка. При поэлементной разборке образуются строительные материалы, изделия и конструкции.

Преимуществами поэлементного демонтажа являются:

- снижение логистических затрат;
- продажа строительных материалов, изделий и конструкций по низким ценам;
- резкое снижение стоимости строительства малоэтажных зданий;
- снижение объемов строительного мусора, для страны это 100 млн. тонн строительных отходов, для Воронежа 700 тыс. тонн;
- снижение выбросов CO₂ на 70 млн. тонн.

Преимущества для организации выполняющих демонтаж зданий:

- Уменьшение на 40% транспортных расходов на вывоз материалов в связи с более полной загрузкой автотранспорта.
- Отсутствие сборов за утилизацию отходов.
- Сохранение экологической обстановки в регионе.

Преимущества для застройщиков:

- Возможность снизить себестоимость квадратного метра возводимого жилья в 2-3 раза.
- Уменьшение стоимости строительства за счет низкой цены материалов.
- Снижение затрат на доставку за счет перевозки материалов организациями, осуществляющими демонтаж.

Преимущества для органов власти регионов;

- Увеличение объемов строительства доступного жилья в регионах.
- Создание новых рабочих мест за счет увеличения объемов строительства по технологии повторного использования строительных материалов.
- Существенное сокращение объемов вывозимого мусора на свалки города.
- Устройство оснований внутрипоселковых дорог, площадок и т.п. с малой интенсивностью автомобильного движения [4].

Поэлементный демонтаж позволяет снизить логистические затраты, этот способ более безопасный для экологии, снижает объемы строительного мусора, является более экономически выгодным, так как делает возможным дальнейшее применение строительных конструкций.

При поэлементном демонтаже зданий и сооружений, согласно СП 325.1325800.2017, ГОСТ Р57678-2017 образуются строительные материалы изделия и конструкции, которые после обследования специалистами можно повторно использовать при укреплении грунтов оснований, устройстве фундаментов различных конструкций, строительстве подпорных стен на оползневых склонах, строительстве малоэтажных домов, которая разрешается действующей инструкцией.

Технология строительства замкнутого цикла опирается на вышеперечисленные документы, а также на инструкцию по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве ВСН 39-83(Р).

Технология строительства замкнутого цикла предполагает следующие этапы:

- Выдача рекомендаций по рациональному сносу.
- Инженерный надзор за сносом и сортировкой материалов и конструкций.
- Определение физико-механических и экологических характеристик демонтируемых элементов.
- Проектирование малоэтажных зданий с применением, бывших в употреблении материалов.
- Инженерный надзор за проведением строительных работ [4].

Также технология замкнутого цикла по исследованиям Воронежского государственного технического университета является экономически выгодной и обоснованной.

На примере расчета железобетонной плиты с параметрами: вес = $m = 2000$ кг, длина = $l = 5970$ мм, ширина = $b = 1500$ мм, высота = $h = 300$ мм, плотность = $\rho_{\text{жб}} = 2400$ кг/м³, стоимость 1 м³ жбк ≈ 20000 руб. рассмотрим экономи-

ческий и экологический эффект от повторного применения одной железобетонной ребристой плиты.

Объем бетона плиты (ребристая):

$$V_{\text{бет}} = m/\rho_{\text{жб}} = 2000/2400 = 0,83 \text{ м}^3$$

Объем бетона плиты (монолитный участок):

$$V_{\text{м,бет}} = l*b*h = 1,5*6*0,3 = 2,7 \text{ м}^3$$

Разница объемов: $V_{\text{м,бет}} - V_{\text{бет}} = 2,7 - 0,83 = 1,87 \text{ м}^3$

Стоимость железобетона с учетом разницы: $1,87*20000 = 37400$ руб.

Этот расчет позволяет сделать вывод о том, что при замене одной плиты (повторном применении ребристой железобетонной плиты) экономия составляет 37400 руб.

Рассмотрим пример внедрения строительных технологий замкнутого цикла при строительстве в сложных гидрогеологических условиях.

ТЗЦ успешно были применены в Ленинградской области. Это далеко не первый дом, который уже построили на подтапливаемом участке.



Рис. 3. Начало строительства на территории с подтопляемым участком



Рис. 4. Устройство укрепления грунтов по ТЗЦ



Рис. 5. Устройство укрепления фундаментов по ТЗЦ



Рис. 6. Остов здания, возведенного методами по ТЗЦ

Также примером применения строительных технологий замкнутого цикла является дом в с. Бабяково Воронежской обл. Дом построен из строительного мусора и является примером современного и экологичного использования отходов.

Он на 100 %, не считая цемента, состоит из бывших в употреблении материалов (железобетон, кирпич, пенопласт, минераловатная плита, стеновые панели, плиты перекрытия, колонны, ригеля, деревянные фермы, шлакоблок) и отходов производства (газосиликатные блоки, керамическая плитка). При строительстве использовались материалы, появившиеся при разборке: общежития ВГМА, 4-го ПАТП, Завода им. Ленина, Гормол. завода, а также ряда других строительных объектов. Что же касается отходов производства, заводы производители сами не против продавать брак, пусть и по низкой стоимости. Ведь это намного выгоднее, чем заниматься переработкой [3].



Рис. 7. Внешняя и внутренняя отделка из бывших в употреблении материалов



Рис. 8. Выполнение внутренняя отделка из битой плитки



Рис. 9. Здание с повторным применением строительных материалов изделий и конструкций



Рис. 10. Здание с повторным применением строительных материалов изделий и конструкций

Заключение. Резюмируя все выше сказанное, по выбранной проблематике мы пришли к следующим выводам:

- Причиной роста количества свалок ТБО является увеличение объемов мусора, которые по сравнению с СССР выросли в 17 раз.

- Приоритетность действующего закона «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ нарушается и не учитывается главенствующий пункт о максимальном использовании исходного сырья и материалов при создании нормативных актов.

- Объем предполагаемого мусора не является соразмерным бюджету выделяемого на его переработку. Этот процесс дорогостоящий, таких денег в бюджете нет, а, следовательно, его пополнение будет происходить за счет простых граждан.

- Для решения экономического и экологического вопроса по возможности нужно переходить к джентрификации.

- Применение механического демонтажа может нарушать Конституцию РФ и ФЗ-89 в связи с возникновением после него строительного мусора.

- Поэлементный демонтаж позволяет снизить логистические затраты, этот способ более безопасный для экологии, снижает объемы строительного мусора, делает возможность дальнейшего применения строительных конструкций.

- Рассмотренный нами метод строительства технологии замкнутого цикла оправдывает свою экономическую и экологическую эффективность, может служить решением рассмотренных проблем, так как сокращает количество строительного мусора и исключает затраты на его переработку, давая вторую жизнь бывшим в употреблении строительным конструкциям.

Предлагаем рассмотреть способы по внедрению и популяризации строительства методом замкнутого цикла:

- разработка нормативных актов, поддерживающих данный тип строительства.
- поддержка и финансирование бизнеса данной направленности;
- поддержка СМИ;
- эко-просвещением и обучением специалистов технических ВУЗов в области технологии замкнутого цикла.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998N 89-ФЗ.
2. СП 325.1325800.2017Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации.
3. С.А. Абраменко, С. Н. Золотухин, А. А. Абраменко, Е. А. Артемова «Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий» / www.elibrary.ru
4. С. Н. Золотухин, А.С. Лобосок «Повторное использование строительных материалов и отходов производства в малоэтажном строительстве» / www.elibrary.ru
5. Золотухин С.Н., Кукина О.Б. «Факторы, сдерживающие внедрение строительных технологий замкнутого цикла» / www.elibrary.ru
6. Экологические проблемы строительной отрасли и пути их решения / С. Н. Золотухин, О. Б. Кукина, В. В. Волков, А. Н. Цыплаков // Повышение эффек-

тивности производства и применения гипсовых материалов и изделий : Сборник материалов X Международной научно-практической конференции, Воронеж, 08–09 сентября 2021 года. – Воронеж: Издательство МИСИ-МГСУ, 2021. – С. 49-68. – EDN IFKHRC.

7. Понявина, Н. А. Обзор критериев выбора технологий при сносе зданий / Н. А. Понявина, И. А. Потехин, С. Н. Золотухин // Строительство и недвижимость. – 2020. – № 2(6). – С. 106-115. – EDN OKUZTM.

8. Золотухин, С. Н. Совершенствование технологии укрепления грунтов с одновременным проведением инженерно-геологических изысканий / С. Н. Золотухин, А. Г. Чигарев, С. Г. Ларионов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2019. – № 1. – С. 511-515. – EDN ZZMUNY.

9. Патент № 2671019 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Способ возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий): № 2017118843: заявл. 30.05.2017: опубл. 29.10.2018 / С. А. Колодяжный, С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». – EDN ZECBTV.

10. Патент № 2647521 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Способ изготовления сплошных плитных фундаментов коробчатого сечения из ребристых плит перекрытия: № 2017107309: заявл. 06.03.2017: опубл. 16.03.2018 / С. А. Колодяжный, С. Н. Золотухин, А. А. Абраменко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». – EDN OSHRQX.

11. Патент № 2656656 С2 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, E02D 27/08. Способ объемной цементации грунтов: № 2015149374: заявл. 17.11.2015 : опубл. 06.06.2018 / С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко, О.Б. Кукина [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». – EDN LBNQKT.

12. Золотухин, С.Н. Возможности создания регионального кластера повторного использования строительных отходов / С. Н. Золотухин, Е. А. Трегубова, И. А. Потехин // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2018. – № 10. – С. 209-212. – EDN XSCCKD.

References

1. Federal Law «On Production and Consumption Waste» dated 06/24/1998 No. 89-FZ
2. SP 325.1325800.2017 Buildings and construction. Rules for the production of demolition and recycling
3. S.A. Abramenko, S. N. Zolotukhin, A. A. Abramenko, E. A. Artemova «Demolition of buildings and use of materials generated during the renovation of urban areas» / www.elibrary.ru
4. S. N. Zolotuhin, A. S. Lobosok «Reuse of building materials and use of waste production in minilevelconstuction» / www.elibrary.ru
5. Zolotukhin S.N., Kukina O.B. «Factors constraining the introduction of closed-loop construction technologies» / www.elibrary.ru
6. Environmental problems of the construction industry and ways to solve them / S. N. Zolotukhin, O. B. Kukina, V. V. Volkov, A. N. Tsyplakov // Improving the efficiency of production and application of gypsum materials and products : Collection of materials of the X International Scientific and Practical Conference, Voronezh, 08-09 September 2021. – Voronezh: Publishing House of MISI-MGSU, 2021. – pp. 49-68. – EDN IFKHRC.
7. Ponyavina, N. A. Review of criteria for choosing technologies for demolition of buildings / N. A. Ponyavina, I. A. Potekhin, S. N. Zolotukhin // Construction and real estate. – 2020. – № 2(6). – Pp. 106-115. – EDN OKUZTM.
8. Zolotukhin, S. N. Improvement of soil strengthening technology with simultaneous engineering and geological surveys / S. N. Zolotukhin, A. G. Chigarev, S. G. Larionov // Innovative, information and communication technologies. – 2019. – No. 1. – Pp. 511-515. – EDN ZZMUHY.

9. Patent No. 2671019 C1 Russian Federation, IPC E02D 27/01. Method of construction of a wall foundation using ribbed floor slabs (coatings): No. 2017118843: application 30.05.2017: publ. 29.10.2018 / S. A. Kolodyazhny, S. N. Zolotukhin, A. A. Abramenko [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University». – EDN ZECBTV.

10. Patent No. 2647521 C1 Russian Federation, IPC E02D 27/01. Method of manufacturing solid slab foundations of box-shaped section from ribbed floor slabs : No. 2017107309 : application 06.03.2017 : publ. 16.03.2018 / S. A. Kolodyazhny, S. N. Zolotukhin, A. A. Abramenko [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University». – EDN OSHRQX.

11. Patent No. 2656656 C2 Russian Federation, IPC E02D 3/12, E02D 27/08. Method of volumetric cementation of soils: No. 2015149374: application 17.11.2015 : publ. 06.06.2018 / S.N. Zolotukhin, A. A. Abramenko, O. B. Kukina [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University technical University». – EDN LBNQKT.

12. Zolotukhin, S.N. The possibilities of creating a regional cluster for the reuse of construction waste / S.N. Zolotukhin, E. A. Tregubova, I. A. Potekhin // Resource-energy-efficient technologies in the construction complex of the region. - 2018. – No. 10. – Pp. 209-212. – EDN XSCCKD.

Борисова Марина Ивановна – ассистент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Баранова Алена Сергеевна – студент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Букенина Ксения Андреевна – студент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Склярова Дарья Сергеевна – студент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ

УДК 691.175.2

**ОЦЕНКА СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Я.О. Рудаков, Е.А. Хорохордина, А.А. Распопова, А.М. Хорохордин,
О.Б. Рудаков*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Рудаков Ярослав Олегович, E-mail: orudakov@cchgeu.ru*

В работе проведена оценка физико-механических и экологических показателей качества минеральной ваты марки «Технониколь» до и после эксплуатации в течении одного года. Физико-механические испытания проведены в соответствии с ГОСТ 4640-2011. Для оценки качества теплоизоляционного материала были также проведены хромато-масс-спектрометрические испытания с применением пиролитической приставки EGA/PY-3030 DFRONTIERLAB и газового хроматографа Agilent 8890 с масс-спектрометрическим детектором. Хромато-масс-спектрометрические данные подтвердили, что при эксплуатации минеральной ваты кроме пыли минерального волокна вредными факторами являются летучие компоненты органических веществ, которые входят в рецептуру.

Ключевые слова: минеральная вата, методы инструментального контроля, физико-механические свойства, пиролитическая газовая хромато-масс-хроматография

**ASSESSMENT OF THE PROPERTIES OF THERMAL INSULATION
MATERIAL DURING OPERATION**

*Ya.O. Rudakov, E.A. Khorokhordina, A.A. Raspopova, A.M. Khorokhordin,
O.B. Rudakov*

© Рудаков Я.О., Хорохордина Е.А., Распопова А.А., Хорохордин А.М., Рудаков О.Б., 2024

**Address for correspondence: Rudakov Ya. O., E-mail: orudakov@cchgeu.ru*

In this work, an assessment was made of the physical, mechanical and environmental quality indicators of TechnoNIKOL brand mineral wool before and after operation for one year. Physical and mechanical tests were carried out in accordance with GOST 4640-2011. To assess the quality of the thermal insulation material, chromatography-mass spectrometric tests were also carried out using the EGA/PY-3030 D FRONTIER LAB pyrolytic attachment and an Agilent 8890 gas chromatograph with a mass spectrometric detector. Chromatography-mass spectrometric data confirmed that when working and using mineral wool, in addition to mineral fiber dust, harmful factors are the volatile components of organic substances that are included in the formulation.

Keywords: mineral wool, methods of instrumental control, physical and mechanical properties, pyrolytic gas chromato-mass chromatography.

Введение. По оценке специалистов за последние годы наиболее востребованным теплоизоляционным материалов является минеральная вата, доля объема производства и потребления на период 2021 года в Российской Федерации уже составляло более 65 % [1].

В работе [2] была проведена физико-химическая и экологическая оценка минеральной ваты. После одного года ее эксплуатации, был произведен ее демонтаж и повторное исследования этих же свойств.

В настоящее время регламентирует качество минеральной ваты ГОСТ 4640-2011 «Межгосударственный стандарт. Вата минеральная. Технические условия». Он распространяется на минеральную вату, получаемую из расплава горных пород габбро-базальтовой группы и их аналогов, осадочных пород, а также вулканического и металлургического шлаков [3].

Таким образом, актуальной задачей является контроль качества и безопасности минераловатного утеплителя, так как есть вероятность того, что при его эксплуатации со временем наблюдается повышение теплопотери, пониже-

ние звукопоглощения и огнестойкости, а также миграции экотоксикантов в воздух жилого помещения. Именно для этого были проведены испытания в 2023 и в 2024 году и проведено их сравнение.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ физико-механических и экологических показателей минераловатного утеплителя до и после эксплуатации.

Экспериментальная часть

В качестве объекта испытаний представлена минеральная (стекло) вата марки «Технониколь», после одного года эксплуатации. В ходе определения параметров качества образцов были выполнены следующие испытания: определение влажности и плотности плит, определения прочности при сжатии, анализ летучих компонентов и полимерного связующего минеральной ваты с применением пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии.

Определения влажности (%) и плотности плит (кг/м^3) проводили в соответствии с ГОСТ 17177-94 [4]. Для определения влажности три навески минеральной ваты высушивали в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 5^\circ\text{C}$ до постоянной массы и взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Результат получают как среднеарифметическое значение трех измерений.

Определения прочности при сжатии (КПа) минераловатных плит проводили на универсальной напольной электромеханической испытательной системе Instron 5982.

Внешний вид отдельных образцов для испытаний на сжатие на период 2024 года представлен на рис. 1.

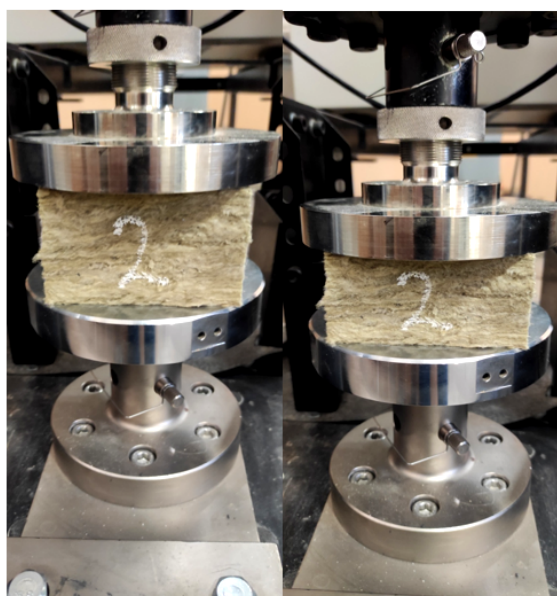


Рис. 1. Внешний вид образца на сжатие до и после испытания

Для определения химического состава летучих компонентов и полимерного связующего применили газовый хроматограф Agilent 8890 с масс-детектором и многорежимным испарителем (пиролизёром) EGA/PY-3030 DFRONTIERLAB с возможностью прямого ввода в колонку для анализа твердых веществ, условия анализа представлены в табл. 1.

Результаты и их обсуждение

Таблица 1

Условия пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии минеральной ваты

Параметр	Подобранные параметры
Ввод пробы	Пиролизер EGA/PY-3030 D FRONTIER LAB
Газ-носитель	гелий
Скорость газа-носителя	1,2 мл/мин
Объем вводимой пробы	0,3 мг
Температура испарителя	300 °C
Программирование температуры термостата	40-320°C /20°C
Хроматографическая колонка	Ultra ALLOY®-5
Температура печи	480
Время анализа	30 мин
Библиотека спектров	NIST20
Температура интерфейса	300°C
Энергия ионизирующих электронов	75 эВ
Режим регистрации масс-спектров	SCAN в диапазоне масс m/z 19-500 а.е.м.

Результаты определения влажности и плотности плит представлены в табл. 2.

Результаты определения влажности и плотности плит

№ образца	Влажность в 2023 году, %	Влажность в 2024 году, %	Плотность в 2023 год, кг/м ³	Плотность в 2024 году, кг/м ³
1	0,43	0,16	109,00	105,3
2	0,44	0,15	109,71	106,1
3	0,43	0,13	106,57	104,4
Среднее значение	0,41	0,15	108,43	105,3

Результаты определения прочности при сжатии минераловатных плит до и после эксплуатации представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения прочности при сжатии образцов минераловатных плит в 2023 и 2024 годах

Номер образца	Прочность при 10%-й линейной деформации, кПа (2023 год)	Прочность при 10%-й линейной деформации, кПа (2024 год)
1	79,15	75,38
2	81,05	76,46
3	85,09	79,52
Среднее значение	81,76	77,12

На рис. 2 и 3 приведены хроматограммы до и после года эксплуатации, полученные методом пиролитической ГЖХ-МС. Продукты 1-4 – летучие компоненты, 5-20 – продукты пиролиза органических компонентов, содержащихся в минвате.

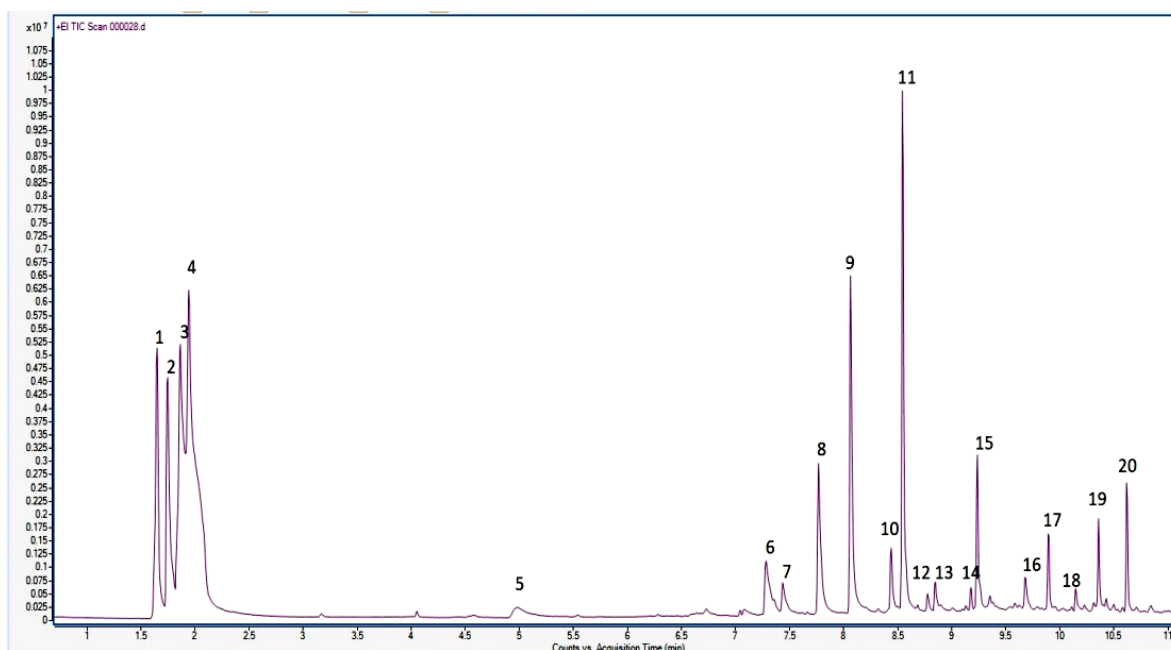


Рис. 2. Хроматограмма минваты до эксплуатации (2023 год)

Пик 1 соответствует углекислому газу, в обоих образцах. Пики 2-4 достоверно не идентифицированы, с вероятностью 55-80% библиотека спектров указывает на сходство экспериментальных масс-спектров с летучими алкиламинами, изоцианатами, силоксаном. Пики 5,6 соответствуют *орто*- и *пара*-крезолам, 7,8,9 – изомерные диметилфенолы, 10 – ароматический изоцианат, 12 – антисептик метенамин, 13-20 – ароматические амины, цианиды и изоцианаты.

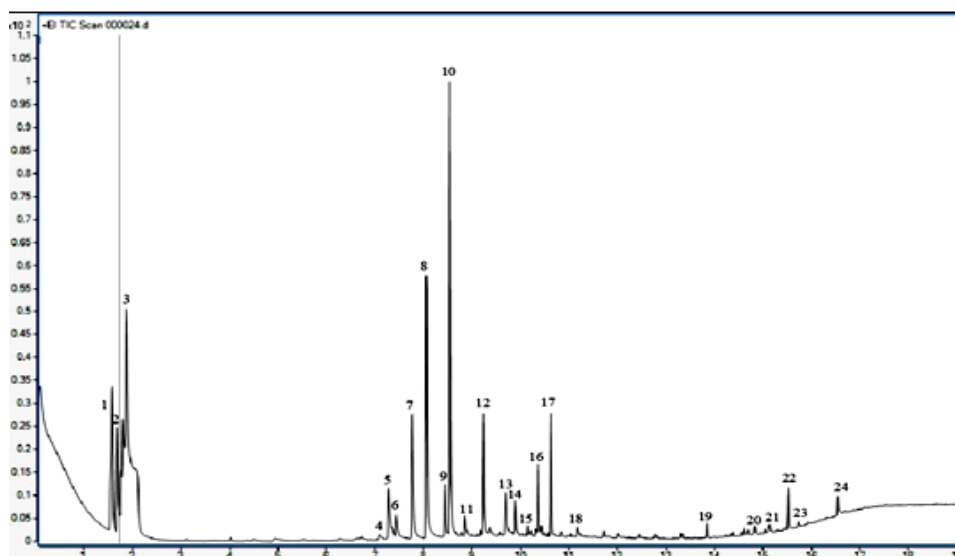


Рис. 3. Хроматограмма минваты после года эксплуатации (2024 год)

Пик 1 соответствует углекислому газу; 2 -изоцианиду водорода; 3 – метилизоцианату. Пики 4, 5, 9 соответствуют *орто*- и *пара*-крезолам; 6, 7 – изомерные диметилфенолы, 12 – циклогексасилоксан, 14 - изоциановая кислота, 15 – тетрадекаметилциклогептасилоксан, 8, 10, 16 – изоцианаты, 18 – гексадекаметилциклооктасилоксан, 19 – октадеаметилциклононаилоксан, 20, 21 – пиридины, 24 – эруциламид.

На двух образцах пик 5 соответствует *орто*- и *пара*-крезолам, однако во втором случае пик значительно больше, что говорит об увеличении миграции крезолов. То же увеличение можно наблюдать по пику 7, во втором образце, выделение изомерного диметилфенола значительно больше, как и выделение изоцианатов (пик 10). Также во втором образце можно наблюдать появление новых пиков, которые соответствуют: циклогексасилоксану, тетрадекаметилциклогептасилоксану, гексадекаметилциклооктасилоксану и октадеаметилциклононаилоксану.

Заключение. Характеристики прочности при сжатии, влажности и плотность образца минеральной ваты соответствуют показателям ГОСТ 4640-2011 и ГОСТ 9573- 2012 [3,5]. Сравнительная характеристика влажности показала, что ее изменение в течении года составляет около 30 %, что свидетельствует об отсутствии повышенной влажности при эксплуатации материала.

Изменение плотности в течении года эксплуатации составляет около 3 %, что может указывать на умеренную усадку минваты в процессе эксплуатации.

Сравнительный анализ прочности на сжатие при 10 % деформации показывает уменьшение ее на 6%, что является не существенным, то есть данный теплоизоляционный материал сохраняет свои свойства в течении времени.

Хроматографический анализ указывает на то, что минвата после года эксплуатации сильнее «фонит» экотоксикантами фенольного типа и азотсодержащими соединениями (аминами, цианидами, изоцианатами), образующимися в результате частичной деструкции полимерного связующего.

Список литературы

1. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухов Е.Ю. Характеристики: теплоизоляционные материалы и конструкции. - М.: Инфра-М, 2021. 266 с.
2. Хорохордин А.М., Рудаков Я.О., Хорохордина Е.А., Распопова А.А. Новое в контроле качества минераловатного утеплителя // Химия, физика и механика материалов. 2023. № 3 (38). С. 81-90.
3. ГОСТ 4640-2011. «Межгосударственный стандарт. Вата минеральная. Технические условия».
4. ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».
5. ГОСТ 9573- 2012 «Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия».

References

1. Bobrov Yu.L., Ovcharenko E.G., Shoikhet B.M., Petukhov E.Yu. Characteristics: thermal insulation materials and structures. - M.: Infra-M, 2010. 266 p. (In Russian).
2. Khorokhordin A.M., Rudakov Ya. O., Khorokhordina E. A., Raspopova A.A. New in quality control of mineral wool insulation // Chemistry, physics and mechanics of materials. 2023. No. 3 (38). Pp. 81-90. (In Russian).
3. GOST 4640-2011. «Interstate standard. Mineral wool. Technical conditions» (In Russian).
4. GOST 17177-94 «Materials and products for building thermal insulation. Test methods» (In Russian).
5. GOST 9573-2012 «Heat-insulating mineral wool slabs with a synthetic binder. Technical conditions» (In Russian).

Рудаков Ярослав Олегович – инженер кафедры химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета, аспирант кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета

Хорохордина Елена Алексеевна – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Распопова Алина Алексеевна – студент группы БХТ-201, факультета радиотехники и электроники Воронежского государственного технического университета

Хорохордин Алексей Митрофанович – начальник ЦКП им. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета

Научное издание

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Выпуск № 1 (40), 2024

Научный журнал

В авторской редакции

*Дата выхода в свет: 22.04.2024.
Формат 60×84 1/8. Бумага писчая.
Усл. печ. л. 12,9. Уч.-изд. л. 8,4.
Тираж 35 экз. Заказ № 81
Цена свободная*

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84