



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ  
И ОБРАЗОВАНИЯ

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И ОБРАЗОВАНИЯ – 2021

Сборник докладов Второй Национальной научной конференции  
(г. Москва, 8 декабря 2021 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022  
ISBN 978-5-7264-2968-7

Москва  
Издательство МИСИ – МГСУ  
2022

УДК 69+378  
ББК 38+74.4  
А43

А43 **Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021** [Электронный ресурс] : сборник докладов Второй Национальной научной конференции (г. Москва, 8 декабря 2021 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, управление научной политики. — Электрон. дан. и прогр. (22 Мб) — Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. — Режим доступа: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2968-7

Настоящий сборник содержит доклады участников Второй национальной научной конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021», рекомендованные Программным комитетом к публикации.

На Конференции были представлены доклады преподавателей, специалистов, руководителей исследовательских центров, научных школ, научных руководителей магистрантов, аспирантов и докторантов.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, магистрантов и обучающихся высших учебных заведений строительной отрасли.

*Научное электронное издание*

*Материалы публикуются в авторской редакции.  
Авторы опубликованных докладов несут ответственность  
за достоверность приведенных в них сведений.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022

Подбор материала и ответственные за выпуск:  
*А.В. Дорошенко, К.Е. Миронов*

Управление научной политики  
тел. 7 (495) 287-49-14, вн. 2393; 2673  
E-mail: grant@mgsu.ru, MironovKE@mgsu.ru  
Сайт: <http://mgsu.ru/>  
[http://mgsu.ru/science/Nauchniye\\_meropr/](http://mgsu.ru/science/Nauchniye_meropr/)

Компьютерная верстка *К.Е. Миронова*

Для создания электронного издания использовано:  
Microsoft Word 2013, Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию 25.01.2022. Объем данных 22 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Издательство МИСИ – МГСУ.  
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.  
E-mail: rio@mgsu.ru

**Организатор:** Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ).

**Дата проведения:** 8 декабря 2021 года.

**Место проведения:** Москва, Ярославское шоссе, 26, НИУ МГСУ.

**Тематика конференции:**

- Теория сооружений. Строительные конструкции.
- Строительные материалы и технологии.
- Градостроительство. Архитектура.
- Экологическая безопасность в строительстве и городском хозяйстве.
- Безопасность зданий и сооружений.
- Организационно-методические и общетехнические вопросы в строительстве.
- Цифровые технологии в строительстве.
- Инженерные системы и средства механизации в строительстве и ЖКХ.
- Комплексная безопасность в гидротехническом, энергетическом и геотехническом строительстве.
- Экономика и управление в сфере строительства и недвижимости.

**Научный комитет:**

- Акимов П.А. – ректор, председатель Научного комитета;
- Туснин А.Р. – проректор, заместитель председателя Научного комитета;
- Галишникова В.В. – проректор, заместитель председателя Научного комитета;
- Волгин В.В. – проректор;
- Кайтуков Т.Б. – проректор;
- Фазылзянова Г.И. – проректор;
- Кабанцев О.В. – директор научно-технических проектов;
- Тер-Мартirosян А.З. – директор ИСА;
- Анискин Н.А. – и.о. директора ИГЭС;
- Спицов Д.В. – директор ИИЭСМ;
- Филатов В.В. – и.о. директора ИЦТМС;
- Орлов А.К. – директор ИЭУКСН;
- Федорова Н.В. – директор филиала НИУ МГСУ в г. Мытищи;
- Сидоров В.Н. – советник при ректорате.

**Рабочая группа:**

- Дорошенко А.В. – начальник УНП, руководитель Рабочей группы;
- Бакаева Н.В. – ответственный за научную работу ИСА;
- Макиша Н.А. – ответственный за научную работу ИИЭСМ;
- Сергеев С.А. – ответственный за научную работу ИГЭС;
- Горяев Н.А. – ответственный за научную работу ИЦТМС;
- Канхва В.С. – ответственный за научную работу ИЭУКСН;
- Алексанин А.В. – ответственный за научную работу филиала НИУ МГСУ в г. Мытищи;
- Квитка Т.И. – начальник сектора ОНИРС УНП;
- Евстратов В.С. – ведущий инженер УНП;
- Миронов К.Е. – инспектор сектора ОНИРС УНП.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. Теория сооружений. Строительные конструкции

А. А. Землянский, Л. А. Землянский, К. А. Землянский, Л. Д. Зотов, В. А. Шилов ИННОВАЦИОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ АБСОЛЮТНО ГИБКОЙ ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШИ ДЛЯ РВС НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ _____	19
А. А. Котов МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА КАК ФУНКЦИЯ УРОВНЯ НАГРУЖЕНИЯ И ВРЕМЕНИ _____	27
А. В. Захаров, И. П. Салтыков ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕГОРОДОК НА ТРЕТЬЕМ ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ СТАНДАРТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА _____	36
А. М. Ибрагимов, А. С. Торлин СТАЛЬНАЯ СКВОЗНАЯ АРОЧНАЯ КОНСТРУКЦИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ НИЖНИМ ПОЯСОМ И РЕШЕТКОЙ _____	44
С. Ю. Савин, Н. В. Федорова, В. И. Колчунов ДЕФОРМИРОВАНИЕ БЕТОНА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РЕЖИМНОМ НАГРУЖЕНИИ _____	51
А. В. Трофимов, С. В. Осыков ДЕФОРМАЦИИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ КОНТАКТНОГО СЛОЯ _____	55
М. Д. Антонов, А. В. Алексейцев ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛА МОНОЛИТНОЙ ПЛИТЫ И КОЛОННЫ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ _____	62
В. К. Мусаев МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ УПРУГИХ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕСЯТИЭТАЖНОМ ЗДАНИИ С ОСНОВАНИЕМ _____	72
А. В. Заев, В. И. Холодков, Н. Б. Андросова К ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИОПОРНОЙ ЗОНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ДЛИТЕЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ _____	80
М. А. Дежин ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАКЛАДКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВВИНЧЕННЫХ ШУРУПОВ _____	86
В. Л. Мондрус, Л. Ю. Ступишин ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ _____	91
Д. Г. Уткин, М. А. Музалевская УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФИБРОБЕТОНОМ И КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ _____	96

<b>А. Г. Тамразян</b> <b>ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ДОЛГОВЕЧНОСТИ</b> <b>ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ</b> <b>ХЛОРИДОВ _____</b>	<b>100</b>
<b>В. А. Люблинский, С. В. Стручков, Л. В. Задорина</b> <b>К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОДАТЛИВОСТИ ПЛОТНЫХ СВЯЗЕЙ ПАНЕЛЬНЫХ</b> <b>МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ _____</b>	<b>107</b>
<b>И. С. Аксёнов, А. П. Константинов</b> <b>ФИЗИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ</b> <b>ДЕФОРМАЦИЙ АРМИРОВАННОГО ПВХ ПРОФИЛЯ _____</b>	<b>113</b>
<b>В. Г. Гагарин, Е. В. Коркина, М. Д. Тюленев</b> <b>ПОДБОР НИЗКОЭМИССИОННОГО ОСТЕКЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ</b> <b>ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОТИВОСТОЯЩЕГО ЗДАНИЯ _____</b>	<b>120</b>
<b>В. И. Линьков, Н. В. Линьков, Э. С. Хобот</b> <b>УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ</b> <b>КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОВОЛОКНА И</b> <b>УГЛЕПЛАСТИКА _____</b>	<b>128</b>

## **Секция 2. Строительные материалы и технологии**

<b>В. Н. Соков, Е. А. Рамазанов, С. Д. Сокова</b> <b>ЗАКОНОМЕРНОСТИ И УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ФУТЕРОВОК</b> <b>ИЗ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ КЕРАМОВОЛОКНИСТЫХ МАСС _____</b>	<b>134</b>
<b>А. В. Угляница, В. Б. Дуваров</b> <b>ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ С ДОБАВКОЙ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМА _____</b>	<b>140</b>
<b>Зиен Ву Ким, С.И. Баженова, Нгуен Зоан Тунг Лам</b> <b>ПРИМЕНЕНИЕ ПЕНОБЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ _____</b>	<b>146</b>
<b>Танг Ван Лам, Ву Ким Зиен, Б.И. Булгаков, Хоанг Минь Хай</b> <b>ПОЛУЧЕНИЕ БЕСЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ ИЗ СМЕСИ</b> <b>КРУПНОТОННАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ</b> <b>ОТХОДОВ ДЛЯ ЗАМЕНЫ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ</b> <b>БЕТОНАХ _____</b>	<b>152</b>
<b>А. Х. Аласханов</b> <b>ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ БЕТОНЫ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ _____</b>	<b>158</b>
<b>В. И. Трофимов, В. А. Ясюкович</b> <b>К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ И</b> <b>ШУМОЗАЩИТЫ ДЛЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ _____</b>	<b>164</b>
<b>И. А. Котлярова, В. В. Слободчиков</b> <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА</b> <b>СТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К</b> <b>АГРЕССИВНЫМ ЖИДКИМ СРЕДАМ _____</b>	<b>172</b>
<b>М. Содомон, И. В. Степина, А. А. Аскадский, А. О. Тимофеева, С. В. Орбинская</b> <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСТВОРИМОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ</b> <b>МОНОЭТАНОЛАМИН(Н-В)- ТРИГИДРОКСИБОРАТОМ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ</b> <b>БОРЩЕВИКА _____</b>	<b>177</b>
<b>О. А. Ларсен, А. М. Бахрах</b> <b>КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОВЫШЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ</b> <b>ПРОВОДИМОСТЬЮ _____</b>	<b>181</b>

# ПОЛУЧЕНИЕ БЕСЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ ИЗ СМЕСИ КРУПНОТОННАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ЗАМЕНЫ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНАХ

Танг Ван Лам<sup>1</sup>, Ву Ким Зиен<sup>2</sup>, Б.И. Булгаков<sup>3</sup>, Хоанг Минь Хай<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ханойский горно-геологический университет, г. Ханой (Вьетнам);

<sup>2,3</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

<sup>4</sup>Колледж промышленности и строительства, г. Уонг Би (Вьетнам);

<sup>1</sup>lamvantang@gmail.com

<sup>2</sup>kimdienxdtb@gmail.com

<sup>3</sup>BulgakovVI@mgsu.ru

<sup>4</sup>hoanghaicdncsp@gmail.com

## Аннотация

В данной статье представлены результаты получения во Вьетнаме бесцементных вяжущих из смеси крупнотоннажных промышленных и сельскохозяйственных отходов с целью замены портландцемента в составе мелкозернистых бетонов.

Результаты проведенных исследований показали возможность изготовления бесцементных вяжущих, позволяющих получить мелкозернистые бетонные смеси с распылом конуса  $145 \div 215$  мм, при затвердевании которых были получены бетоны с пределом прочности на сжатие в возрасте 28 суток нормального твердения  $43,1 \div 68,9$  МПа и на растяжение при изгибе порядка  $4 \div 7,4$  МПа. Разработанные бесцементные вяжущие могут быть использованы в качестве альтернативы традиционному портландцементу.

## ВВЕДЕНИЕ

Топливная зола-уноса и доменные шлаки – одни из самых крупнотоннажных промышленных отходов в современном мире. Зола-уноса содержится в отходящих дымовых газах в виде мелких частиц, которые образуются при сжигании твердого топлива на теплоэлектростанциях [1, 2]. В составе золы-уноса содержится много кристаллических фаз, состоящих в основном из оксидов кремния, алюминия, кальция, железа, магния и серы, кроме того, она может содержать некоторое количество несгоревшего угля [3, 4]. Доменные шлаки - отходы черной металлургии в виде частиц диаметром  $10 \div 200$  мм, которые получают в качестве побочного продукта при выплавке чугуна из железной руды [5-7].

Одновременно с быстрым развитием индустриализации и модернизации промышленности во Вьетнаме растет спрос на электроэнергию и чугун, сталь и различные сплавы. Все это приводит к увеличению количества образующихся топливных зол и шлаков, требующих все большую площадь свалок твердых отходов [8, 9]. При неправильной организации захоронения такие отходы будут загрязнять воду и почву, нанося, тем самым, ущерб окружающей среде [10, 11].

В настоящее время Вьетнам ориентирован на создание экономики замкнутого цикла, направленной на экономию природных ресурсов и рациональную утилизацию крупнотоннажных техногенных отходов. Поэтому действия по использованию большого количества золы и шлака – отходов работы тепловых электростанций и металлургических предприятий в качестве сырья для производства строительных материалов представляются очень важной экологической задачей.

Вместе с тем, согласно статистике Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), мировое производство риса в 2003 году составило 588,56 млн. т., из которых на долю Вьетнама пришлось 34,51 млн. т. Обмолот указанного количества рисового

зерна привел к образованию 6,9 млн. т. рисовой шелухи, а в 2015 г. ее количество превысило 8 млн. т. Это также оказывает сильное давление на экологическую ситуацию в стране [12, 13].

Целью данной работы является изучение возможности получения бесцементных вяжущих из смеси промышленных и сельскохозяйственных отходов, в которых в качестве алюмосиликатных сырьевых материалов используются топливная зола-уноса, доменный шлак и зола рисовой шелухи, а в качестве щелочных активаторов – растворы NaOH и Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> с кремнеземным модулем  $M_s = 2,5$ . Полученные результаты показывают перспективность использования во Вьетнаме твердых промышленных и сельскохозяйственных отходов для получения бесцементных вяжущих.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

В работе были использованы следующие сырьевые материалы из отходов: зола-уноса (ЗУ), доменный шлак (ДШ), зола рисовой шелухи (ЗРШ). Их химический состав и физические свойства представлены в таблице 1.

Табл. 1. Химический состав и физические свойства золы-уноса, доменного шлака и золы рисовой шелухи

Материалы	Зола-уноса	Доменный шлак	Зола рисовой шелухи
Химический состав, %			
SiO <sub>2</sub>	54,2	36,3	88,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,3	12,6	3,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,8	3,4	2,5
SO <sub>3</sub>	2,5	5,7	0,4
K <sub>2</sub> O	1,5	0,4	-
Na <sub>2</sub> O	1,6	0,3	0,6
CaO	1,2	40,1	0,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,4	-	-
Потери при прокаливании	4,5	1,2	3,5
Физические свойства			
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	5,82	0,37	14,45
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,35	2,92	2,25
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1575	1550	760
Водопотребность, % масс.	101	145	105

В качестве мелкого заполнителя (П) в исследовании был использован кварцевый песок I класса реки Ло (Вьетнам) с истинной плотностью 2,65 г/см<sup>3</sup> и размером частиц от 0,14 мм до 5 мм, соответствующий требованиям ГОСТ 8736-2014.

Активирующий щелочной раствор (АР) состоял из водных растворов гидроксида и силиката натрия с плотностью, соответственно, 1,45±0,01 г/см<sup>3</sup> и 1,55±0,01 г/см<sup>3</sup>, в соотношении Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH = 2,5 [14, 15]. Его процентный состав по массе: NaOH = 12%; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = 30% и вода = 58%.

Для снижения водопотребности бетонной смеси использовали поликарбоксилатный суперпластификатор SR 5000F (SR5000) производства фирмы «Silk Road» с плотностью 1,1 г/см<sup>3</sup> при температуре 20 ± 5°C. Это суперпластификатор типа G, соответствующий требованиям ASTM C494.

Вода, использованная для приготовления мелкозернистой бетонной смеси, соответствовала требованиям ГОСТ 23732-2011 и TCVN 4506: 2012.

### Методы

- Составы мелкозернистых бетонных смесей на бесцементных вяжущих рассчитывали методом абсолютных объемов с последующей их корректировкой по результатам экспериментальных испытаний.



- Удобоукладываемость мелкозернистых бетонных смесей по расплыву конуса определяли согласно стандарту TCVN 3121-3: 2003.

- Среднюю плотность мелкозернистых бетонных смесей определяли согласно TCVN 3108: 1993 и TCVN 3105: 1993, а среднюю плотность полученных в результате их затвердевания бетонов – по стандарту TCVN 3115: 1993.

- Прочность мелкозернистых бетонов на сжатие определяли испытанием образцов-кубов размером 70x70x70 мм, а на растяжение при изгибе - на образцах-призмах размером 40x40x160 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012.

### Приготовление мелкозернистых бетонных смесей

Соотношения между основными сырьевыми компонентами и объем вовлеченного воздуха были определены на основании результатов проведенных ранее исследований [4-6, 8, 10, 14, 15].

Табл. 2. Соотношения сырьевых компонентов и объем вовлеченного воздуха

Соотношение	$\frac{П}{ЗДЗ}$	$\frac{ЗУ}{ЗДЗ}$	$\frac{ДШ}{ЗДЗ}$	$\frac{ЗРШ}{ЗДЗ}$	$\frac{SR5000}{ЗДЗ}$	$\frac{AP}{ЗДЗ}$	$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH}$	$\frac{В}{ЗДЗ}$	Объем вовлеченного воздуха
Значение	1,3	10%÷90%	0%÷80%	10%	1%	0,35	2,5	0,23	3%

Примечание:  $ЗДЗ = ЗУ + ДШ + ЗРШ$ .

Предварительные составы мелкозернистых бетонных смесей на бесцементных вяжущих представлены в таблице 3.

Табл. 3. Составы мелкозернистых бетонных смесей

№ состава	Состав бесцементного вяжущего	$\frac{AP}{ЗДЗ}$	Содержание сырьевых компонентов, кг/м <sup>3</sup>							
			ЗУ	ДШ	ЗШР	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	П	SR5000	Вода
Состав №1	90%ЗУ+10%ЗШР	0,35	754	0	84	84	210	1089	8,4	197
Состав №2	70%ЗУ + 10%ЗШР + 20%ДШ		595	170	85	85	213	1105	8,5	198
Состав №3	50%ЗУ + 10%ЗШР + 40%ДШ		432	345	86	86	216	1122	8,6	199
Состав №4	30%ЗУ + 10%ЗШР + 60%ДШ		263	526	88	88	219	1140	8,8	201
Состав №5	10%ЗУ + 10%ЗШР + 80%ДШ		89	711	89	89	223	1156	8,9	202

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Удобоукладываемость и средняя плотность мелкозернистых бетонных смесей

Результаты определения удобоукладываемости мелкозернистых бетонных смесей на бесцементных вяжущих по расплаву конуса и их средней плотности представлены в таблице 4.

Табл. 4. Удобоукладываемость и средняя плотность мелкозернистых бетонных смесей на бесцементных вяжущих

№ состава	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Расплав конуса, мм
Состав №1	2405	215
Состав №2	2437	185
Состав №3	2461	185
Состав №4	2503	155
Состав №5	2541	145



Рис. 1. Определение удобоукладываемости мелкозернистых бетонных смесей по расплыву конуса



Рис. 2. Определение плотности мелкозернистых бетонных смесей

Из экспериментальных результатов, приведенных в таблице 4, видно, что изменение соотношения между ЗУ и ДШ в составе бесцементных вяжущих не оказывает существенного влияния на среднюю плотность бетонных смесей. В то же время, величина расплыва конуса мелкозернистой бетонной смеси сильно изменяется при увеличении содержания доменного шлака в составе вяжущего, что объясняется его большей по сравнению с золой-уноса водопотребностью (соответственно, 145 % и 101 % масс.) из-за более пористой структуры шлака. Процессы определения величины расплыва конуса и средней плотности мелкозернистых бетонных смесей на основе бесцементных вяжущих показаны на рис. 1 и 2.

#### Физико-механические свойства мелкозернистых бетонов

Прочность бетонных образцов на сжатие и растяжение при изгибе определяли в возрасте 7, 14 и 28 суток. Результаты экспериментов представлены в таблице 5.

Табл. 5. Средняя плотность и прочность бетонных образцов на сжатие и растяжение при изгиб

№ состава	Состав бесцементного вяжущего	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на растяжение при изгибе, МПа			Прочность на сжатие, МПа		
			7 сут.	14 сут.	28 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.
Состав №1	90%ЗУ+10%ЗШР	2389	2,83	3,71	4,01	27,9	36,9	43,1
Состав №2	70%ЗУ + 10%ЗШР + 20%ДШ	2396	3,05	4,43	4,66	31,2	40,9	46,1
Состав №3	50%ЗУ + 10%ЗШР + 40%ДШ	2403	3,31	4,75	5,12	37,7	49,2	52,4
Состав №4	30%ЗУ + 10%ЗШР + 60%ДШ	2478	4,87	6,14	6,87	43,4	56,5	61,5
Состав №5	10%ЗУ + 10%ЗШР + 80%ДШ	2506	5,27	6,36	7,44	48,2	63,4	68,9

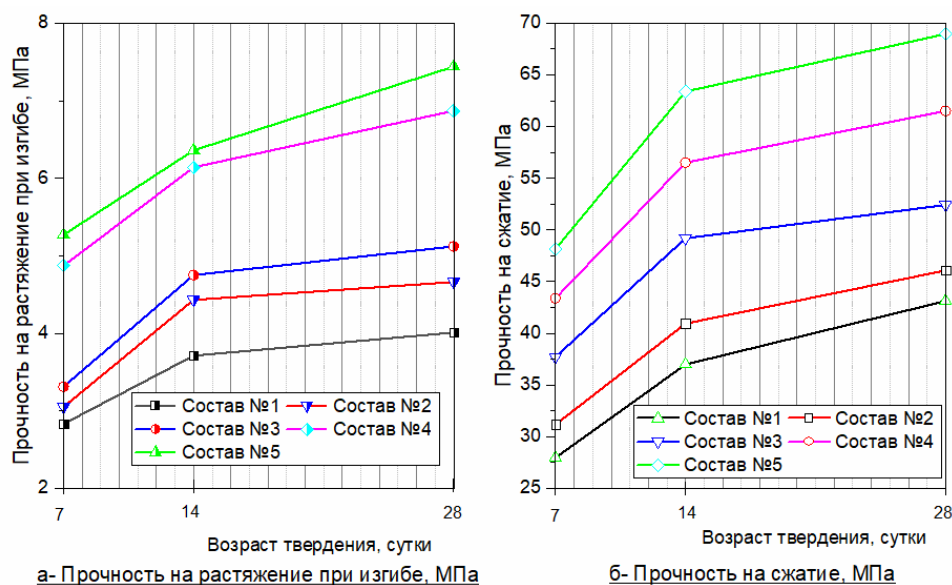


Рис. 3. Зависимости прочности на сжатие и на растяжение при изгибе от возраста твердения бетонных образцов

На рисунке 3 видно, что увеличение содержания доменного шлака в составе бесцементного вяжущего до 80% приводит к росту прочности мелкозернистых бетонов на сжатие и растяжение при изгибе примерно до 1,6-1,8 раза, что можно объяснить цементирующим действием шлака.

На основании полученных результатов проведенных исследований из мелкозернистой бетонной смеси на разработанном бесцементном вяжущем составе №5 при непосредственном участии авторов статьи были изготовлены вентиляционные решетки, использованные при строительстве во Вьетнаме (рис 4).



Рис. 4. Вентиляционные решетки из мелкозернистой бетонной смеси на разработанном бесцементном вяжущем

## ВЫВОДЫ

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Используя имеющиеся во Вьетнаме крупнотоннажные промышленные и сельскохозяйственные отходы в виде топливной золы-уноса, доменных шлаков и золы рисовой шелухи в сочетании с активирующим раствором  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ , можно получить бесцементное вяжущее, позволяющее заменить портландцемент в мелкозернистых бетонах во Вьетнаме. При этом были получены мелкозернистые бетонные смеси с удобоукладываемостью по расплыву конуса  $145 \div 215$  мм, после затвердевания которых были получены мелкозернистые бетоны в предельном диапазоне прочности на сжатие в возрасте 28 суток  $43,1 \div 68,9$  МПа и на растяжение при изгибе порядка  $4 \div 7,4$  МПа.

2. При увеличении содержания доменного шлака в составе бесцементного вяжущего до 80% наблюдается снижение расплава конуса мелкозернистой бетонной смеси с 215 до 145 мм, что объясняется большей водопотребностью шлака по сравнению с золой-уноса из-за его более пористой структуры. При этом, средняя плотность бетонных смесей при

снижении концентрации золы-уноса в составе бесцементного вяжущего и одновременном росте содержания доменного шлака незначительно возрастает.

3. При повышении содержания в составе бесцементного вяжущего доменного шлака до 80% предел прочности на сжатие и на растяжение при изгибе образцов исследованных мелкозернистых бетонов увеличился примерно в  $1,6 \div 1,8$  раза по сравнению с бетоном на бесцементном вяжущем без шлака, что можно объяснить цементирующим действием использованного доменного шлака.

4. 7 и 14-суточная прочность на сжатие разработанных мелкозернистых бетонов на бесцементных вяжущих в среднем составила, соответственно, 70% и 90% предела прочности в возрасте 28 суток.

**БЛАГОДАРНОСТЬ.** Публикуется при поддержке гранта научно-технической программы Министерства строительства Вьетнама, реализуемой с 2021 года в соответствии № 3813/QĐ-BGDĐT от 20/11/2020 с № B2021-MDA-11.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kiều Q.N., Nguyễn A.D. Chất kết dính geopolymer trong sản xuất vật liệu xây dựng không nung // Tạp chí Địa chất, loạt A năm 2020, tr.647 -659.
2. Nguyễn T.B., Nguyễn T.T., Đinh H.Q. Ảnh hưởng của độ mịn xỉ lò cao đến cường độ bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa // Tạp chí KH&CN Thủy lợi số 61, trang 16-23, 2020
3. Nguyễn T.B., Nguyễn T.T., Đinh H.Q. Kết quả ứng dụng bê tông CKD KHH sử dụng tro bay và xỉ lò cao tại công trình thử nghiệm // Tạp chí KH&CN Thủy lợi số. 2020. 63, trang 73-83.
4. Trần V.H., Đào V.Đ., Nguyễn N.L. Nghiên cứu các tính chất cơ học của bê tông Geopolymer tro bay // Tạp chí Giao thông Vận tải. 2017. Số 1. 10p.
5. Đinh H.Q., Nguyễn T.B., Nguyễn T.T. Phương pháp tính toán thành phần, công thức cấp phối bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa sử dụng kết hợp tro bay nhiệt điện, xỉ lò cao phù hợp với các nguồn vật liệu tại Việt Nam // Đề tài NCKH cấp Quốc gia mã số KC.08.21/16-20 thuộc chương trình nghiên cứu KH&CN phục vụ bảo vệ môi trường và phòng tránh thiên tai, mã số: KC08/16-20.
6. Hwang C.L., Trong P.H. Effect of alkali-activator and rice husk ash content on strength development of fly ash and residual rice husk ash-based geopolymer // Construction and Building Materials. 2015. 101 Pp: 1-9.
7. Khoa T.N., Namshik A., Tuan A.Le., Kihak Lee. Theoretical and experimental study on mechanical properties and flexural strength of fly ash-geopolymer concrete // Construction and Building Materials. 2016. 106, pp. 65-77.
8. Nguyễn T.B., Nguyễn T.T., Đinh H.Q. Nghiên cứu sử dụng kết hợp tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao để chế tạo bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa (không sử dụng xỉ măng) dùng cho các công trình thủy lợi làm việc trong môi trường biển góp phần bảo vệ môi trường. Đề tài NCKH cấp Quốc gia mã số KC.08.21/16-20.
9. Lam V.T., Boris B., Sofia B., Olga A., Anh N.P., Tho D.V., Effect of rice husk ash and fly ash on the workability of concrete mixture in the high-rise construction // E3S Web of Conferences. 2018. 33, 02029, 13 p.
10. Nguyễn T.X. Khả năng ứng dụng tro bay làm phụ gia trong vữa và bê tông trên nền geopolymer // Tạp chí khoa học – công nghệ thủy sản. 2013. số 1. 10p
11. Nguyễn T.B., Nguyễn T.T., Đinh H.Q. Nghiên cứu đánh giá chất lượng tro bay, xỉ lò cao của các nhà máy nhiệt điện, luyện kim ở Việt Nam // Tạp chí KH&CN Thủy lợi. 2019. №57, 27-38.
12. Tăng Văn Lâm, Vũ Kim Diễm, Bulgakov Boris Igorevich. Nghiên cứu sử dụng kết hợp tro bay nhiệt điện với xỉ lò cao để chế tạo bê tông chất lượng cao hạt mịn không xi măng// Tạp chí Xây dựng, №10/2021. C. 183-190.
13. Tang V.L., Boris B., Olga A., Anh N.P., Yuri M. Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. 365, 032007, 8 p.
14. Танг В.Л., Нго С.Х., Ву К.З., Булгаков Б.И., Баженова С.И., Александрова О.В. Геополимерный бетон с использованием многотоннажных техногенных отходов // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 2. Ст. 2. URL: <http://nso-journal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.2
15. Танг В.Лам, Булгаков Б.И. Возможность использования золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи в геополимерных бетонах для строительства сооружений во Вьетнаме // BDU Journal of Science & Technology. 2021. Vol.03. №.01. Pp. 26-40.