

УДК 691.32

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 67.09.33

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия (технические науки)

EDN ijfesj

DOI 10.62980/2076-0655-2024-225-236

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ СЖИГАНИЯ МУСОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Танг Ван Лам¹, Нгуен Динь Тринь², Хоанг Ань Куонг³, Булгаков Б.И.⁴, Александрова О.В.⁴

¹Ханойский горно-геологический университет, Ханой, Вьетнам

²Университет Туйлои, Ханой, Вьетнам

³Университет транспорта и коммуникаций, Ханой, Вьетнам

⁴Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

АННОТАЦИЯ

В условиях современной тенденции строительства мусоросжигательных электростанций во Вьетнаме, исследования, направленные на решение проблемы утилизации их золошлаковых отходов, необходимы для создания экономики замкнутого цикла. Кроме того, массовая добыча природного кварцевого песка негативно влияет на экологическую ситуацию в стране. Наиболее реальным выходом из складывающейся ситуации представляется использование в качестве мелкого заполнителя искусственного песка. Целью данного исследования было получение тяжелого бетона с использованием золошлаковых отходов мусоросжигательной электростанции и искусственного песка. В статье представлены результаты экспериментальных исследований использования золошлаковых отходов мусоросжигательной электростанции «Грин Стар» для получения тяжелого бетона. В качестве сырьевых материалов для получения бетона были использованы портландцемент типа ЦЕМ I 42,5 Н завода «Бут Сон», искусственный песок, полученный дроблением известняка, известняковый щебень фракции 5 ÷ 10 мм, зола-уноса, тонкомолотый донный шлак, керамический порошок и водоредуцирующий суперпластификатор. Результаты исследований показали возможность использования до 20% масс. золы-уноса и тонкомолотого донного шлака для изготовления тяжелого бетона. Полученная бетонная смесь имеет хорошую удобоукладываемость, ее подвижность по осадке конуса составляет от 15 до 20 см, а прочность на сжатие затвердевшего бетона через 28 суток составляет более 40 МПа. Полученные результаты открывают широкие перспективы использования золошлаковых отходов мусоросжигательной электростанции в строительстве во Вьетнаме.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мусоросжигательные электростанции, золошлаковые отходы, искусственный песок, бетонная смесь, тяжелый бетон, удобоукладываемость, средняя плотность, водопоглощение, прочность на сжатие

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Возможность использования золошлаковых отходов сжигания мусора для получения тяжелого бетона / Танг Ван Лам, Нгуен Динь Тринь, Хоанг Ань Куонг, Булгаков Б.И., Александрова О.В. // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 3. – С. 225-236., DOI 10.62980/2076-0655-2024-225-236, EDN ijfesj

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

EDN ijfesj

DOI 10.62980/2076-0655-2024-225-236

THE POSSIBILITY OF USING ASH AND SLAG WASTE FROM INCINERATION TO PRODUCE HEAVY CONCRETE

Tang Van Lam¹, Nguyen Dinh Trinh², Hoang Anh Cuong³, Bulgakov B.I.⁴, Aleksandrova O.V.⁴

¹Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Vietnam

²Thuyloi University, Ha Noi, Vietnam

³University of Transport and Communications, Ha Noi, Vietnam

⁴Moscow State University of Civil Engineering

ABSTRACT

Under the current trend of construction of incinerator power plants in Vietnam, research aimed at solving the problem of utilization of their ash and slag waste is necessary to create a closed-cycle economy. In addition, mass extraction of natural quartz sand negatively affects the ecological situation in the country. The most realistic way out of this situation is the use of synthetic sand as a fine aggregate. The purpose of this study was to obtain heavy concrete using ash and slag waste from incinerator power plant and artificial sand. The article presents the results of experimental research on the use of ash and slag waste from the Green Star incinerator for heavy concrete. Portland cement type CEM I 42,5 H of "But Son" plant, the synthetic sand obtained by limestone crushing, limestone crushed stone of 5 ÷ 10 mm fraction, fly ash, the finely ground bottom slag, the ceramic powder and water-reducing superplasticizer were used as raw materials for concrete production. The results of research showed the possibility of using up to 20% wt. % of the fly ash and the finely ground bottom ash for the production of the heavy concrete. The received concrete mixture has good workability, its mobility on cone settlement makes from 15 to 20 cm, and compressive strength of hardened concrete after 28 days makes more than 40 MPa. The obtained results open wide prospects for the use of ash and slag waste from incinerator in construction in Vietnam.

KEY WORDS: incineration plants, ash and slag waste, artificial sand, concrete mix, heavy concrete, workability, average density, water absorption, compressive strength

FOR CITATION: The possibility of using ash and slag waste from incineration to produce heavy concrete / Tang Van Lam, Nguyen Dinh Trinh, Hoang Anh Cuong, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V. // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. – 31, No3. – Pp. 225 – 236 DOI 10.62980/2076-0655-2024-225-236, EDN ijfesj , .

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во Вьетнаме имеется ряд эффективно действующих электростанций, использующих в качестве топлива мусор. Как пример можно привести электростанцию «Сок Сон» в Ханое, способную утилизировать 4000 т. отходов в день и генерировать 75 МВт электроэнергии, электростанцию «Винь Тан» в провинции Бинь Туан, сжигающую в день 600 т. мусора и вырабатывающую 30 МВт электроэнергии, электростанцию «Фу Нинь» в провинции Фу Тхо, с ежедневным потреблением 500 т. отходов и производством 25 МВт электроэнергии, а также мусоросжигательную электростанцию «Ку Чи» в городе Хошимин, с дневной производительностью 50 МВт электроэнергии и утилизацией 1000 т. отходов [1-3].

В начале 2023 года в провинции Бакнинь официально введен в эксплуатацию первый в этой провинции завод по переработке твердых бытовых и промышленных отходов с целью выработки электроэнергии, также известный как мусороперерабатывающая электростанция «Грин Стар» (“Green Star” - GCEP), с производительностью 180 т. отходов в день и выработкой 6,1 МВт электроэнергии [4-6].

Однако электростанция, работающая на отходах, выбрасывает в окружающую среду большое количество золы и шлака, образующихся в результате сжигания мусора. Согласно отчету акционерной компании “Thien Y Environmental Energy” объем образующихся на мусоросжигательной ТЭЦ «Шокшон» золы и шлака составляет около 260 000 т. в год, а упомянутая мусоросжигательная электростанция «Грин Стар» ежедневно генерирует около 20-30 т. золошлаковых отходов [7]. Поэтому поиск путей утилизации зол и шлаков мусоросжигательных электростанций для снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду является на сегодняшний день для Вьетнама актуальной проблемой, требующей решения.

Использование зольных остатков в качестве добавки при производстве бетонов позволяет решать не только экологические проблемы, но и позволяет улучшать эксплуатационные свойства строительных материалов [8-10].

Спрос на природный кварцевый песок для строительства во Вьетнаме огромен. При этом, темпы его добычи, включая нелегальные, также велики. Поэтому месторождения природного песка становятся все более дефицитными, а сам кварцевый песок все более дорогим, и в скором времени прогнозируется возникновение ситуации острой нехватки песка как для строительства, так и для производства строительных материалов. Кроме того, массовая и зачастую незаконная добыча природного кварцевого песка негативно влияет на экологическую ситуацию в стране. Наиболее реальным выходом из складывающейся ситуации представляется использование в качестве мелкого заполнителя искусственного песка, полученного путем измельчения горных пород, речной и морской гальки, а также бетонного лома снесенных зданий и сооружений [11-15].

Потенциальные возможности производства дробленого песка во Вьетнаме огромны, поскольку минеральные ресурсы для этого, особенно известняк и гальки, распространены во многих провинциях страны. Однако производство и использование дробленого песка в стране еще не популярно и до сих пор остается много сложностей из-за отсутствия синхронного управления процессом добычи природного песка, отсутствия необходимого количества

INTRODUCTION

Currently, there are a number of efficient power plants in Vietnam that use garbage as fuel. Examples include the Soc Son power plant in Hanoi, which can utilize 4,000 tons of waste per day and generate 75 MW of electricity, the Vinh Tan power plant in Binh Tuan province, which burns 600 tons of garbage per day and generates 30 MW of electricity, the Phu Ninh power plant in Phu Thong province, waste and generates 30 MW of electricity, Phu Ninh power plant in Phu Tho province, with a daily consumption of 500 tons of waste and generation of 25 MW of electricity, and Cu Chi incineration power plant in Ho Chi Minh City, with a daily capacity of 50 MW of electricity and utilization of 1,000 tons of waste [1-3].

In early 2023, the province's first municipal and industrial solid waste-to-energy plant, also known as the Green Star waste-to-energy plant (GCEP), with a capacity of 180 tons of waste per day and generating 6.1 MW of electricity, was officially commissioned in Bac Ninh Province [4-6].

However, the waste-to-energy plant emits a large amount of ash and slag into the environment as a result of burning garbage. According to the report of Thien Y Environmental Energy Joint Stock Company, the amount of ash and slag generated by Shokshon waste incineration power plant is about 260,000 tons per year, and the mentioned Green Star waste incineration power plant generates about 20-30 tons of ash and slag waste daily [7]. Therefore, the search for ways to utilize ash and slag from incinerator power plants to reduce their negative impact on the environment is currently an urgent problem for Vietnam that needs to be solved.

The use of ash residues as an additive in concrete production allows to solve not only environmental problems, but also allows to improve the operational properties of construction materials [8-10].

The demand for natural silica sand for construction in Vietnam is huge. At the same time, the rate of extraction, including illegal extraction, is also high. Therefore, natural sand deposits are becoming more and more scarce and silica sand is becoming more and more expensive, and a situation of acute shortage of sand for both construction and building materials production is predicted in the near future. In addition, massive and often illegal mining of natural quartz sand has a negative impact on the environmental situation in the country. The most realistic way out of this situation is the use of artificial sand as fine aggregate obtained by grinding rocks, river and sea pebbles, as well as concrete scrap from demolished buildings and structures [11-15].

The potential for crushed sand production in Vietnam is huge, as mineral resources for this purpose, especially limestone and pebbles, are common in many provinces of the country. However, the production and utilization of crushed sand is not yet popular in the country. There are many difficulties due to lack of synchronized management of natural sand mining process. There are no necessary

документов, регламентирующих производство и использование дробленого песка в бетонах и строительных растворах, а также льгот предприятиям, занимающихся изготовлением подобных песков. Поэтому необходимо предпринять усилия для устранения причин, препятствующих увеличению производства и более широкому использованию в строительстве дробленых песков взамен природного кварцевого [16, 17]. Например, искусственный песок, полученный дроблением известняка. Как показано молотый известняк может улучшать реологические характеристики цементных паст [18,19] и может с успехом использоваться в составе бетона [20,21].

Целью данного исследования было получение тяжелого бетона с использованием преимущественно местных вьетнамских материалов, таких как золошлаковые отходы мусоросжигательной электростанции и искусственный песок на основе известняка.

Материалы и методы исследования

Используемые материалы

В работе были использованы следующие сырьевые материалы.

1. Портландцемент (Ц) типа ЦЕМ I 42,5 Н (PCB40) производства завода «Бут Сон» (Вьетнам) с истинной плотностью 3,15 г/м³, соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020 и вьетнамского стандарта TCVN 2682:2009. Минералогический состав и физико-механические характеристики использованного портландцемента приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ЦЕМ I 42,5 Н

Table 1. Mineral composition and physical and mechanical characteristics of Portland cement CEM I 42.5 H

Минералогический состав, % масс. Mineral composition, %					Нормальная густота, % Normal density, %	Сроки схватывания, мин. Setting times, min		Прочность на сжатие, МПа Compressive strength, MPa	
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	др.		Начало Beginning	Конец End	2 сут. 2 days	28 сут. 28 days
58,2	23,4	3,2	12,4	2,8	29,3	120	262	27,4	50,5

2. Искусственный песок (ИП), полученный путем дробления известняка, добываемого в карьере Киен Кхе, в провинции Ханам, имел размер зерен, аналогичный размеру зерен природного кварцевого песка, и соответствовал предъявляемым к нему требованиям по физико-механическим показателям. Полученный песок можно смешивать в соответствующих пропорциях с природным песком при изготовлении бетонов и строительных растворов (рисунок 1).

Полученный песок соответствовал требованиям ГОСТ 8736-2014 и вьетнамского стандарта TCVN 7570:2006 и его физико-механические представлены в таблице 2.

3. Крупный заполнитель представлял собой щебень из известняка (Щ) фракции 5 ÷ 10 мм, истинной плотностью 2,65 г/см³ и насыпной плотностью в уплотненном состоянии 1540 кг/м³ и удовлетворял требованиям ГОСТ 8267-93 и вьетнамского стандарта TCVN 7570:2006.

4. Зола-уноса и тонкомолотый донный шлак мусоросжигательной электростанции «Грин Стар».

documents regulating the production and use of crushed sand in concrete and mortar. There are no incentives for enterprises engaged in the manufacture of crushed sand. Therefore, efforts should be made to address the reasons that hinder the increase in production. Crushed sand should be used more widely in construction to replace natural quartz sand [16, 17]. For example, artificial sand obtained by crushing limestone. As shown ground limestone can improve the rheological characteristics of cement pastes [18,19] and can be successfully used in the composition of concrete [20,21].

The purpose of this study was to produce heavy concrete using mainly local Vietnamese materials such as incinerator ash and limestone-based synthetic sand.

Materials and methods of research

The materials used

The following raw materials were used in this work.

1. Portland cement (PC) type CEM I 42.5 H (PCB40) produced by But Son plant (Vietnam) with a true density of 3.15 g/m³, meeting the requirements of GOST 31108-2020 and Vietnamese standard TCVN 2682:2009. Mineralogical composition and physical and mechanical characteristics of the used Portland cement are given in Table 1.

2. The synthetic sand (SS) obtained by crushing limestone from Kien Khe quarry in Ha Nam province had a grain size similar to that of natural quartz sand and met the requirements for physical and mechanical properties. The obtained sand can be mixed in appropriate proportions with natural sand in the production of concrete and mortars (Figure 1).

The obtained sand met the requirements of GOST 8736-2014 and Vietnamese standard TCVN 7570:2006 and its physical and mechanical are presented in Table 2.

3. The coarse aggregate was crushed limestone (Sch) of fraction 5 ÷ 10 mm, true density 2,65 g/cm³ and bulk density in compacted state 1540 kg/m³ and met the requirements of GOST 8267-93 and Vietnamese standard TCVN 7570:2006.

4. The fly ash and the finely ground bottom ash from the Green Star incinerator.

а). Зола уноса (ЗУ) (рисунок 2а) собирается непосредственно из дымохода мусоросжигательного предприятия через систему рукавных фильтров [22, 23].

б). Донный шлак (Ш) до помола - зернистый, пористый и неравномерный по размеру, поэтому он был подвергнут тонкому измельчению в шаровой мельнице (рисунок 2б).

a). Fly ash (FA) (Figure 2a) is collected directly from the incinerator chimney through a bag filter system [22, 23].

b). The bottom ash (BA) before grinding is granular, porous and uneven in size, so it was subjected to fine grinding in a ball mill (Figure 2b).

РИСУНОК 1

КРУПНЫЙ ДРОБЛЕННЫЙ ПЕСОК ИЗ ИЗВЕСТНЯКА КАРЬЕРА КИЕН КХЕ (провинция Ханам, Вьетнам)



Figure 1

Coarse crushed sand from Kien Khe limestone quarry (Ha Nam Province, Vietnam)

ТАБЛИЦА 2 – ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРОБЛЕНОГО ПЕСКА ИЗ ИЗВЕСТНЯКА КАРЬЕРА КИЕН КХЕ

Table 2 - Physical and mechanical properties of crushed sand from Kien Khe limestone quarry

№ п/п	Свойства Properties	Единицы измерения Units of measurement	Значения показателей Values of indicators
1	Модуль крупности Modulus of Coarseness	-	3,11
2	Истинная плотность True density	г/см ³	2,65
3	Насыпная плотность в уплотненном состоянии Bulk density in compacted condition	г/см ³	1,54
4	Пустотность Void density	%	36,6
5	Содержание пыли, глины и других примесей Content of dust, clay and other additives	%	1,25

РИСУНОК 2

Зола-уноса и донный шлак мусоросжигательной электростанции «Грин Стар»:

(а) – зола -уноса;

(б) – тонкомолотый донный шлак



Figure 2

Fly ash and bottom slag from the incinerator power plants:

(a) - fly ash;

(b) - finely ground bottom ash

Использованные зола-уноса и тонкомолотый донный шлак соответствовали требованиям ГОСТ Р 56196-2014, ГОСТ 25818-2017 и Вьетнамского стандарта TCVN 10302:2014.

Физико-механические свойства и химический состав золы-уноса и тонкомолотого донного шлака мусоросжигательной электростанции «Грин Стар» представлены в таблицах 3 и 4.

The used fly ash and the fine ground bottom ash met the requirements of GOST R 56196-2014, GOST 25818-2017 and Vietnamese standard TCVN 10302:2014.

Physical and mechanical properties and chemical composition of the fly ash and the fine ground bottom ash from the incineration plant “Green Star” are presented in Tables 3 and 4.

ТАБЛИЦА 3 - ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛЫ-УНОСА И ТОНКОМОЛОТОГО ДОННОГО ШЛАКА

Table 3 - Physical and mechanical properties of the fly ash and the fine ground bottom ash

№ п/п	Показатели Indicators	Единицы измерения Units of measurement	Результаты испытаний Testing results	
			Зола-уноса Fly ash	Тонкомолотый донный шлак Fine ground bottom slag
1	Влажность Humidity	%	0,5	4,5
2	Истинная плотность True density	г/см ³	2,35	2,95
3	Насыпная плотность Bulk density	кг/м ³	1570	1485
4	Удельная поверхность Specific surface	см ² /г	2850	3600
5	Средний размер частиц The average particle size	мкм	7,15	4,39

ТАБЛИЦА 4 - ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛЫ-УНОСА И ДОННОГО ШЛАКА

Table 4 - Chemical composition of fly ash and bottom slag

Компонент Component	Содержание оксидов, % масс. Oxide content, % wt.								Потери при прокаливании Losses during calcination
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Прочие	
Зола-уноса Fly ash	28,2	11,5	16,4	3,7	2,4	28,1	2,1	3,1	4,5
Донный шлак Ground bottom slag	54,2	23,0	8,5	2,5	2,1	1,5	0,6	3,4	4,2

5. Керамический порошок «ТОТО» (КП). В процессе производства сантехнических керамических изделий, таких как умывальники, ванны и унитазы на заводе «ТОТО» (Ханой) ежемесячно образуется около 2000 т. твердых отходов, в основном в виде брака, загрязняющих окружающую среду. Для борьбы с этим негативным явлением бракованные изделия подвергают дроблению, в результате чего получают керамический порошок «ТОТО» с размером частиц 0,1÷0,5 мм. Данный порошок был использован в качестве инертной минеральной добавки для уплотнения структуры тяжелого бетона.

6. Суперпластификатор (СП) типа G торговой марки SR 5000F производства вьетнамского филиала компании «Sika» (Швейцария) соответствовал требованиям ГОСТ 24211-2008 и вьетнамского стандарта TCVN 8826:2011. Это суперпластификатор на основе поликарбоксилатного эфира с плотностью водного раствора рабочей концентрации 1,12±0,2 г/см³ и водоредуцирующей способностью порядка 20÷30%.

7. Водопроводная вода (В), использованная в качестве воды затворения для получения бетонной смеси, соответствовала требованиям ГОСТ 23732-2011 и вьетнамского стандарта TCVN 4506:2012.

5. TOTO Ceramic Powder (KP). During the production of ceramic sanitary ware such as washbasins, bathtubs and toilets at the TOTO factory in Ha Noi, about 2000 tons of solid waste, mainly in the form of rejects, are generated every month, polluting the environment. To combat this negative phenomenon, the rejected products are crushed to produce TOTO ceramic powder with a particle size of 0.1÷0.5 mm. This powder was used as an inert mineral admixture to compact the structure of heavy concrete.

6. Superplasticizer (SP) type G of trade mark SR 5000F produced by the Vietnamese branch of the company «Sika» (Switzerland) met the requirements of GOST 24211-2008 and Vietnamese standard TCVN 8826:2011. It is a superplasticizer based on polycarboxylate ester with density of aqueous solution of working concentration 1.12±0.2 g/cm³ and water-reducing ability of 20÷30%.

7. The tap water (W) used as mixing water for concrete mixture was in accordance with the requirements of GOST 23732-2011 and Vietnamese standard TCVN 4506:2012.

Экспериментальные методы

Проектирование составов бетонных смесей тяжелого бетона проводился на основании технических указаний Министерства строительства Вьетнама по выбору составов бетона всех типов [24].

Подвижность бетонных смесей определяли по осадке нормального конуса Абрамса в соответствии с вьетнамским стандартом TCVN 3106:2022 (рисунок 3), а их среднюю плотность – по TCVN 3105:1993 и TCVN 3108:1993.

Среднюю плотность в сухом состоянии бетонных образцов в возрасте твердения 28 суток определяли в соответствии с вьетнамским стандартом TCVN 3115: 1993, а их водопоглощение по массе в том же возрасте - по TCVN 13930:2024.

Прочность на сжатие бетонных образцов-кубов размером 100x100x100 мм в разном возрасте твердения определяли на универсальной испытательной установке “ADVANTEST 9” (Италия) со скоростью нагружения 500 Н/с согласно требованиям вьетнамского стандарта TCVN 3118:2022. При этом, для испытаний каждого из пяти составов тяжелого бетона использовали три указанных образца. После формования образцы твердели в течение суток в формах, а затем извлекались из форм и погружались в резервуар с водой, в котором проходило их дальнейшее твердение до достижения возраста испытания.

Experimental methods

The design of the heavy concrete mixes was carried out based on the technical guidelines of the Vietnamese Ministry of Construction for the selection of concrete mixes of all types [24].

The mobility of the concrete mixtures was determined by Abrams normal cone slump according to Vietnamese standard TCVN 3106:2022 (Figure 3), and their average density was determined according to TCVN 3105:1993 and TCVN 3108:1993.

The average dry density of concrete specimens at the age of curing 28 days was determined according to the Vietnamese standard TCVN 3115: 1993, and their water absorption by weight at the same age - according to TCVN 13930:2024.

The compressive strength of concrete cube specimens of 100x100x100 mm in different curing ages was determined on the universal testing unit “ADVANTEST 9” (Italy) with a loading rate of 500 N/s according to the requirements of Vietnamese standard TCVN 3118:2022. At the same time, three specified specimens were used for testing each of the five heavy concrete compositions. After molding, the specimens were cured for a day in the molds and then removed from the molds and immersed in a water tank, where they were further cured until they reached the test age.

РИСУНОК 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ ПО ОСАДКЕ КОНУСА

Figure 3

Determination of concrete mix mobility by cone settlement



Эксперименты и обсуждение результатов

Рассчитанные составы бетонных смесей тяжелого бетона приведены в таблице 5.

Подвижность бетонных смесей, характеризуемая осадкой конуса, и их среднюю плотность определяли сразу после их получения. Среднюю плотность в сухом состоянии полученных в результате их затвердевания тяжелых бетонов и их водопоглощение по массе определяли в 28-суточном возрасте твердения. Прочность на сжатие образцов разработанных тяжелых бетонов измеряли в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 суток их твердения (TCVN 3118:2022. Bê tông).

Результаты экспериментальных испытаний представлены в таблицах 6 и 7.

Experiments and discussion

The calculated compositions of the heavy concrete mixtures are given in Table 5.

The mobility of concrete mixtures, characterized by cone settlement, and their average density were determined immediately after their production. The average dry density of the resulting heavy concrete and its water absorption by weight were determined at 28-day curing age. The compressive strength of the developed heavy concrete samples was measured at the ages of 1, 3, 7, 14 and 28 days of curing (TCVN 3118:2022. Bê tông).

The experimental test results are presented in Tables 6 and 7.

Таблица 5 – СОСТАВЫ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА
Table 5 - Concrete mix compositions of heavy concrete mixes

№ состава Composition number	Соотношение в смеси золошлаковых отходов, % Ratio in the mixture of ash and slag waste, %		Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг. Consumption of the materials per 1 m ³ of concrete mixture, kg.							
	Зола уноса Fly ash	Донный шлак Bottom slag	Ц C	КП CP	ЗУ FA	ДШ BS	ИП SS	Щ Z	В W	СП SP
ИД-01	20	0	500	25	100	0	485	1015	185	6
ИД-02	15	5	500	25	75	25	485	1015	185	6
ИД-03	10	10	500	25	50	50	485	1015	185	6
ИД-04	5	15	500	25	25	75	485	1015	185	6
ИД-05	0	20	500	25	0	100	485	1015	185	6

Ц – портландцемент; КП – кварцевый песок; ЗУ – зола уноса; ДШ – донный шлак; ИП – искусственный песок; Щ – щебень; В – вода; СП – суперпластификатор; C - Portland cement; CP - ceramic powder; FA - fly ash; BS - bottom slag; SS - synthetic sand; Z - crushed stone; W - water; SP - superplasticizer

Таблица 6 - СВОЙСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ
Table 6 - The properties of concrete mixtures and heavy concretes

№ состава Composition number	Осадка конуса бетонной смеси, см Cone settlement of the concrete mixture, cm		Плотность бетонной смеси, кг/м ³ The density of concrete mixture, kg/m ³		Плотность бетонных образцов в сухом состоянии в возрасте твердения 28 суток, кг/м ³ The density of concrete samples in dry state at the age of curing 28 days, kg/m ³		Водопоглощение по массе бетонных образцов в возрасте твердения 28 суток, % масс. Water absorption by weight of the concrete specimens at the age of curing 28 days, % wt.	
	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение
ИД-01	19	1,2	2298	4,1	2187	4,4	6,50	0,72
ИД-02	19	1,2	2305	4,0	2194	4,1	6,66	0,70
ИД-03	18	1,5	2324	4,2	2213	3,8	6,82	0,81
ИД-04	17	1,5	2347	4,0	2236	4,4	7,15	0,80
ИД-05	16	1,4	2365	4,3	2254	3,9	7,24	0,76

Таблица 7 - СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ
Table 7 – The average values of compressive strength of heavy concrete samples at different curing ages

№ состава Composition number	Прочность на сжатие образцов тяжелого бетона, МПа, через сутки твердения The compressive strength of heavy concrete samples, MPa, after a day of hardening									
	1 сутки		3 суток		7 суток		14 суток		28 суток	
	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение Standard deviation	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение Standard deviation	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение Standard deviation	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение Standard deviation	Среднее значение Average value	Стандартное отклонение Standard deviation
ИД-01	6,3	1,1	17,5	1,5	31,1	1,3	40,4	1,8	44,8	2,3
ИД-02	6,6	1,1	18,4	1,4	32,7	1,3	42,4	1,9	47,0	2,2
ИД-03	7,2	0,9	20,2	1,2	35,9	1,5	46,5	1,7	51,6	2,0
ИД-04	6,3	1,1	17,6	1,2	31,3	1,5	40,7	1,8	45,1	1,8
ИД-05	5,9	1,2	16,4	1,3	29,1	1,4	37,8	2,0	41,9	2,0

Свойства бетонных смесей

Properties of concrete mixtures

Полученные бетонные смеси обладали хорошей удобоукладываемостью, что объясняется введением в бетонную смесь суперпластификатора SR 5000F в количестве 1,2% от массы цемента.

В результате проведенных исследований было установлено, что при изменении соотношения содержания золы уноса и тонкомолотого донного шлака в составе

The obtained concrete mixtures had good workability, which is explained by the introduction of superplasticizer SR 5000F in the amount of 1.2% of the weight of cement into the concrete mixture.

Changing the ratio of the content of fly ash and fine ground bottom ash in the composition of mineral admixture at replacement of 20% of the weight of cement

использованной в качестве минеральной добавки смеси золошлаковых отходов в количестве 20% от массы цемента существенно меняются свойства бетонных смесей и полученных в результате их затвердевания бетонов, что объясняется тем, что донный шлак по сравнению с золой уноса имеет более высокую пористость и дисперсность. Кроме того, в донном шлаке содержатся металлические примеси, присутствие которых оказывает влияние на свойства как бетонных смесей, так и бетонов, например, на увеличение их средней плотности.

Также определено, что при повышении содержания тонкомолотого донного шлака в смеси с золой уноса с 0 до 20% от массы цемента подвижность бетонных смесей по осадке конуса снижается с 19 до 16 см (таблица 4). Основной причиной этого является то, что из-за своей высокой пористости и большей удельной поверхности шлак интенсивнее поглощает воду, чем зола уноса, в результате чего бетонные смеси становятся менее подвижными [25,26]. Кроме того, с увеличением содержания шлака растет средняя плотность бетонной смеси.

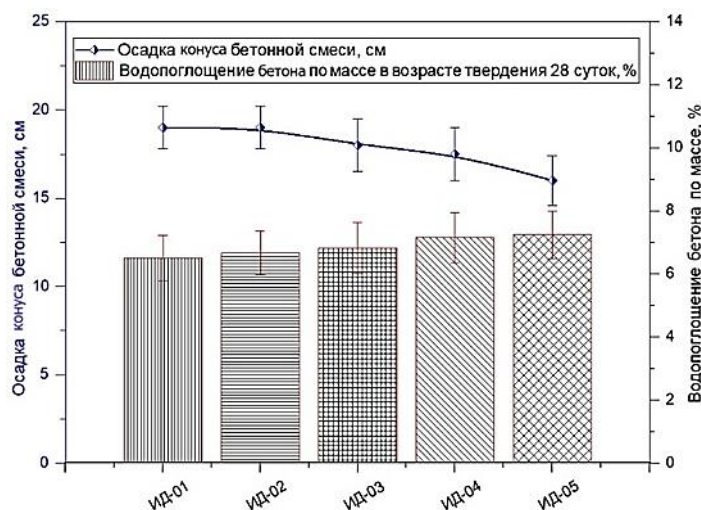
Зависимость подвижности бетонных смесей от содержания тонкомолотого донного шлака в смеси золошлаковых отходов изображена на рисунке 4.

РИСУНОК 4

ЗАВИСИМОСТЬ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ТОНКОМОЛОТОГО ДОННОГО ШЛАКА В СМЕСИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Figure 4

Dependence of mobility of the concrete mixtures and water absorption of heavy concrete on the content of the finely ground bottom ash slag in ash-and-slag waste mixture



Свойства тяжелых бетонов

Установлено, что средняя плотность в сухом состоянии полученных тяжелых бетонов, содержащих в качестве минеральной добавки смесь золы-уноса и тонкомолотого донного шлака мусоросжигательной электростанции «Грин Стар», в возрасте твердения 28 суток составляет от 2187 до 2254 кг/м³ и имеет тенденцию к росту с увеличением содержания шлака в золошлаковой смеси (таблица 4).

Водопоглощение бетонных образцов, содержащих золу и тонкомолотый шлак мусоросжигательной электростанции «Грин Стар», возрастает с 6,5 до 7,24 % масс. по мере увеличения содержания донного шлака до 20% от массы цемента. Это объясняется тем, что донный шлак имеет пористую структуру, что является причиной увеличения пористости бетона и, как следствие, роста водопоглощения бетонных образцов.

На основании экспериментальных результатов, приведенных в таблице 5, можно сделать вывод, что зависимость

change the properties of concrete mixtures and the hardened concrete. This is due to the fact that bottom ash has a higher porosity and dispersibility compared to fly ash. In addition, the bottom ash contains metallic impurities. These impurities affect the properties of both concrete mixtures and concrete. For example, they increase their average density.

When the content of the finely ground bottom ash in the mixture with fly ash in the composition of the mineral admixture is increased by replacing 20% of the weight of cement, the mobility of concrete mixtures changes. The cone settlement decreases from 19 to 16 cm (Table 4). The main reason for this is that due to its high porosity and higher specific surface area, slag absorbs water more intensively than fly ash. As a result, concrete mixtures become less mobile [25,26]. In addition, the average density of the concrete mixture increases with increasing slag content.

Dependence of mobility of the concrete mixtures on the content of the finely ground bottom ash slag in the mixture of ash and slag wastes is shown in Figure 4.

Properties of heavy concrete

It is established that the average density in dry state of the received heavy concrete, containing as a mineral admixture a mixture of fly ash and finely ground bottom ash of incinerator "Green Star", at the age of curing 28 days is from 2187 to 2254 kg/m³ and tends to increase with increasing the content of slag in the ash-and-slag mixture (table 4).

Water absorption of the concrete specimens containing ash and fine ground slag from Green Star incinerator increases from 6.5 to 7.24 % wt. % as the content of bottom slag increases up to 20 % of cement weight. This is explained by the fact that the bottom slag has a porous structure, which is the reason for the increase in the porosity of the concrete and, as a consequence, the increase in water absorption of the concrete specimens.

Based on the experimental results given in Table 5, it can be concluded that the dependence of compressive

прочности на сжатие полученных бетонов от содержания тонкомолотого донного шлака в золошлаковой смеси в различных возрастах твердения носит экстремальный характер. При этом, максимальное значение прочности, равное 51,6 МПа в 28-суточном возрасте, показал тяжелый бетон с одинаковым содержанием в составе указанной минеральной добавки золы уноса и шлака (по 10% от массы цемента). Полученный результат можно объяснить противоборством двух тенденций. Аморфный SiO_2 , обладающий высокой пуццоланической активностью и содержащийся в донном шлаке в большем количестве, чем в золе-уноса, с увеличением содержания шлака в составе золошлаковой минеральной добавки до оптимального значения способствует образованию большего количества низкоосновных гидросиликатов кальция, являющихся основными минералами, обеспечивающими прочность цементного камня бетона. Когда же содержание донного шлака в смеси с золой-уноса превышает установленное оптимальное, то наблюдается снижение прочности бетонов из-за высокой пористости шлака, а также потому, что из-за своей более высокой дисперсности тонкомолотый донный шлак увеличивает водопотребность бетонной смеси. Этот результат согласуется с ранее опубликованными результатами других исследований [27,28].

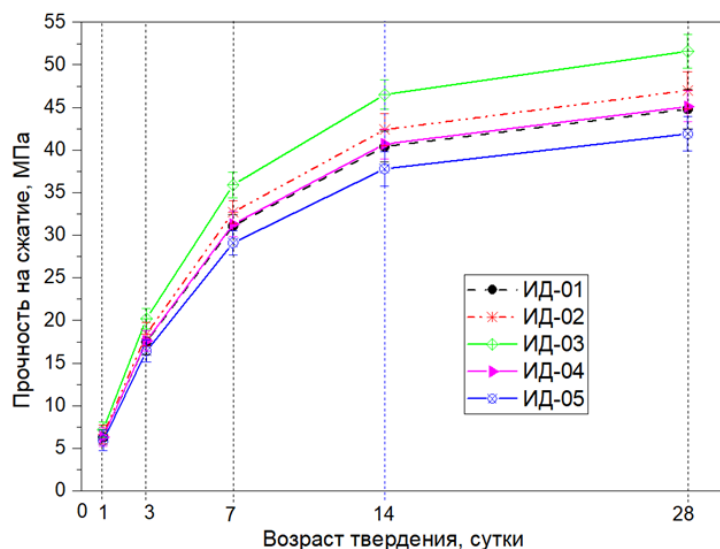
Влияние содержания золы-уноса и тонкомолотого донного шлака на прочность при сжатии образцов тяжелых бетонов, испытанных в разном возрасте твердения, показано на рисунке 5.

РИСУНОК 5

ПРОЧНОСТЬ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ТВЕРДЕНИЯ

Figure 5

Compressive strength of the heavy concrete samples as a function of curing time



Выводы и рекомендации

Выводы

На основании анализа полученных результатов, проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о возможности использования золошлаковых отходов мусоросжигательной электростанции «Грин Стар» в качестве активной минеральной добавки для получения тяжелого бетона, обладающего низким водопоглощением и достаточной прочностью на сжатие в 28-суточном возрасте. Кроме того, вовлечение указанных отходов в производство бетонных изделий и приготовление строительных растворов будет способствовать улучшению экологической ситуации во Вьетнаме и созданию экономики замкнутого цикла.

strength of the obtained concrete on the content of finely ground bottom ash in the ash-and-slag mixture at different ages of curing is extreme. In this case, the maximum strength value equal to 51.6 MPa at 28-day age showed the heavy concrete with the same content of the specified mineral admixture of fly ash and bottom ash (10% of cement weight). Amorphous SiO_2 , which has high pozzolanic activity and is contained in bottom ash in greater quantity than in fly ash, with the increase of the bottom ash content in the composition of the ash and slag mineral admixture up to the optimum value promotes the formation of a greater number of low-base calcium hydrosilicates, which are the main minerals that ensure the strength of the cement stone of concrete. When the content of the bottom ash in the mixture with fly ash exceeds the established optimum, there is a decrease in the strength of concrete because of the high porosity of the bottom ash, and also because of its higher dispersibility finely ground bottom ash increases the water consumption of the concrete mixture. This result is in agreement with previously published results of other studies [27,28].

The effect of fly ash and fine ground bottom ash content on the compressive strength of the heavy concrete specimens tested at different curing ages is shown in Figure 5.

Conclusions and recommendations

Conclusions

Based on the analysis of the obtained results and the conducted experimental studies, it can be concluded that it is possible to use ash and slag wastes from the incinerator power plant “Green Star”. This ash and slag waste can be used as an active mineral admixture for the production of heavy concrete. The concrete has low water absorption and sufficient compressive strength at 28 days of age. In addition, the involvement of ash and slag waste from the incineration plant in the production of concrete products and mortar preparation will contribute

Рекомендации

Необходимо продолжить исследования с целью оценки влияния температуры сжигания мусора на свойства золошлаковых отходов. Необходимо совершенствовать рецептуру бетонных смесей.

Благодарность

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории кафедры подземного и горного строительства Строительного факультета Горно-геологического университета за оказанную помощь в проведении экспериментальных исследований.

Литература:

1. Национальное собрание Вьетнама (2023). <https://quochoi.vn/tintuc/Pages/tin-hoat-dong-cua-quoc-hoi.aspx?ItemID=82916> (на Вьетнамском).
2. Министерство природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама (2023). <https://monre.gov.vn/Pages/tinh-hinh-phan-sinh-chat-thai-ran-thong-thuong.aspx> (на Вьетнамском).
3. Министерство науки и технологий Вьетнама (2024). <https://www.most.gov.vn/vn/tin-tuc/20559/cong-nghe-dot-chat-thai-phan-dien-tren-the-gioi-va-tai-viet-nam.aspx> (на Вьетнамском).
4. Акционерное общество Thien Y Environmental Energy (2023 г.). Сводный отчет о производстве Thien Y Environmental Energy Joint Stock Company (Ханой), оператора электростанции по переработке отходов в Шокшоне, в 2023 году. (на Вьетнамском).
5. Электростанция Green Star Waste Power Plant (2023). Производственный отчет Green Star Waste Power Plant-GCEP (Бакнинь), оператора Green Star Waste Power Plant (Greenstar) в 2023 году. (на Вьетнамском).
6. Ле Ван Туан, Нгуен Куок Тоан, Решения по содействию использованию золы и шлака угольных электростанций в качестве строительных материалов в тенденции круговой экономики во Вьетнаме // Строительный журнал. Выпуск 10. 2021. С. 176-182. (на Вьетнамском).
7. Электростанция Green Star Waste Power Plant (2024). Открытое письмо с просьбой провести исследование по переработке и повторному использованию отходов с электростанции Green Star-GCEP Waste Power Plant (Бакнинь) от 26 января 2024 года. (на Вьетнамском).
8. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4. С. 16-21. EDN: NVYMZJ
9. Энтин Э.Б., Нефедова Л.С., Стржалковская Н.В. Зола ТЭС - сырье для цемента и бетона. Цемент и его применение. 2012. №2. С. 40-46. EDN: OZPSTN
10. Возможность использования золыных остатков для производства материалов строительного назначения во Вьетнаме / В. Л. Танг, Б. И. Булгаков, О. В. Александрова, О. А. Ларсен // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 6. – С. 6-12. – DOI 10.12737/article_5926a059214ca0.89600468. – EDN YQPJGJ.
11. Коровкин М.О., Шестернин А.И., Ерошкина Н.А., Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // Инженерный вестник Дона. №3. 2015. С. 85-95. (In russ.).
12. Larsen, O. Blended binder based on Portland cement and recycled concrete powder / O. Larsen, S. Samchenko, V. Naruts // Magazine of Civil Engineering. – 2022. – No. 5(113). – P. 11306. – DOI 10.34910/MCE.113.6. – EDN ZLGLFF.

to improving the environmental situation in Vietnam and creating a closed-loop economy.

Recommendations

It is necessary to continue research in order to assess the influence of waste combustion temperature on the properties of ash and slag waste. It is necessary to improve the formulation of concrete mixtures.

Acknowledgement

The authors express their sincere gratitude to the laboratory staff of the Department of Underground and Mining Construction, Faculty of Construction, University of Mining and Geology for their assistance in conducting the experimental studies.

References:

1. Nacional'noe sobranie V'etnama (2023). <https://quochoi.vn/tintuc/Pages/tin-hoat-dong-cua-quoc-hoi.aspx?ItemID=82916> (na V'etnamskom).
2. Ministerstvo prirodnyh resursov i okruzhayushey sredy V'etnama (2023). <https://monre.gov.vn/Pages/tinh-hinh-phan-sinh-chat-thai-ran-thong-thuong.aspx> (na V'etnamskom).
3. Ministerstvo nauki i tehnologiy V'etnama (2024). <https://www.most.gov.vn/vn/tin-tuc/20559/cong-nghe-dot-chat-thai-phan-dien-tren-the-gioi-va-tai-viet-nam.aspx> (na V'etnamskom).
4. Akcionernoe obschestvo Thien Y Environmental Energy (2023 g.). Svodnyy otchet o proizvodstve Thien Y Environmental Energy Joint Stock Company (Hanoi), operatora elektrostancii po pererabotke othodov v Shokshone, v 2023 godu. (na V'etnamskom).
5. Elektrostanciya Green Star Waste Power Plant (2023). Proizvodstvennyy otchet Green Star Waste Power Plant-GCEP (Bak-nin'), operatora Green Star Waste Power Plant (Greenstar) v 2023 godu. (na V'etnamskom).
6. Le Van Tuan, Nguen Kuok Toan, Resheniya po sodeystviyu is-pol'zovaniyu zoly i shlaka ugol'nyh elektrostanciy v kache-stve stroitel'nyh materialov v tendencii krugovoy ekonomiki vo V'etname // Stroitel'nyy zhurnal. Vypusk 10. 2021. S. 176-182. (na V'etnamskom).
7. Elektrostanciya Green Star Waste Power Plant (2024). Otkry-toe pis'mo s pros'boy provesti issledovanie po pererabotke i povtornomu ispol'zovaniyu othodov s elektrostancii Green Star-GCEP Waste Power Plant (Baknin') ot 26 yanvarya 2024 goda. (na V'etnamskom).
8. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lahtinen P. Pri-menenie zol i zoloshlakovyh othodov v stroitel'stve // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2011. №4. S. 16-21. EDN: NVYMZJ
9. Entin E.B., Nefedova L.S., Strzhalkovskaya N.V. Zoly TES - syr'e dlya cementa i betona. Cement i ego prime-nenie. 2012. №2. S. 40-46. EDN: OZPSTN
10. Vozmozhnost' ispol'zovaniya zol'nyh ostatkov dlya proizvodstva materialov stroitel'nogo naznacheniya vo V'etname / V. L. Tang, B. I. Bulgakov, O. V. Aleksandrova, O. A. Larsen // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. – 2017. – № 6. – S. 6-12. – DOI 10.12737/article_5926a059214ca0.89600468. – EDN YQPJGJ.
11. Korovkin M.O., Shesterin A.I., Eroshkina N.A., Ispol'zovanie droblenogo betonno-go loma v kachestve zapolnitelya dlya samouplotnyayushegosya betona // Inzhenernyy vestnik Dona. №3. 2015. S. 85-95. (In russ.).
12. Larsen, O. Blended binder based on Portland cement and recycled concrete powder / O. Larsen, S. Samchenko, V. Naruts // Magazine of Civil Engineering. – 2022. – No. 5(113). – P. 11306. – DOI 10.34910/MCE.113.6. – EDN ZLGLFF.

13. Ларсен, О. А. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона / О. А. Ларсен, В. В. Наруть, В. В. Воронин // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 2(88). – С. 61-66. – DOI 10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66. – EDN HTTFQF.
14. Самоуплотняющийся бетон с компенсированной усадкой с использованием материалов из бетонного лома / С. В. Самченко, В. В. Воронин, О. А. Ларсен, В. В. Наруть // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 2(746). – С. 71-78. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-746-2-71-78. – EDN EYNTLL.
15. Загер И.Ю., Яшинкина А.А., Андропова Л.Н., Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого АО // Строительные материалы. №5. 2011. С. 84-86. (In russ.).
16. Хоанг Хонг Ван, Ха Зюй Хиеу, Нгуен Мань Куонг, Фам Ван Тхинь, Нгуен Зуй Хиеу, Чыонг Тхи Ким Суан, До Чонг Тоан, Исследование влияния искусственного песка и природной песчаной смеси на основные свойства бетона // Научный журнал по архитектуре и строительству. 2018. С. 90-94. (на Вьетнамском).
17. Тонг Тон Киен, Тран Хоанг Хан, Цао Тхи Хыонг, Исследование возможности использования изделий из песчаника для замены природного песка в строительных работах. Сборник докладов Национальной научно-технической конференции «Щебень заменяет природный песок - Экологически чистые материалы» // Изд. Строительство. 2018. С. 83-91. (на Вьетнамском).
18. Самченко, С. В. Свойства цементных композитов на основе известняка в зависимости от его гранулометрического состава / С. В. Самченко, О. В. Александрова, А. Ю. Гуркин // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 7. – С. 999-1006. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.7.999-1006. – EDN TNMMPP.
19. Samchenko, S. The effect of dispersion of limestone on the properties of cement mortar / S. Samchenko, O. Larsen, A. Gurkin // Materials Today: Proceedings: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 19. – Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. – P. 2068-2071. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.07.076. – EDN RVCDLT.
20. Бетоны на карбонатном сырье для сухого жаркого климата / С. В. Самченко, О. А. Ларсен, Д. А. Н. Альобаиди [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 9. – С. 74-79. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.09.74-79. – EDN JZTOJO.
21. Concrete Modification for Hot Weather Using Crushed Dolomite Stone / S. V. Samchenko, O. A. Larsen, I. V. Kozlova [et al.] // Buildings. – 2023. – Vol. 13, No. 10. – P. 2462. – DOI 10.3390/buildings13102462. – EDN MGPLFU.
22. Tang Van Lam, Vu Kim Dien (2020). The possibility of using waste slag from the metallurgical industry in the production of construction materials. Science & Technology Magazine, Ministry of Industry and Trade. No. 43. October 2020.
23. T.V. Lam, B. Bulgakov, Y. Bazhenov, O. Aleksandrova, P.N. Anh (2018). Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 365. 2018. Doi:10.1088/1757-899X/365/3/032007
24. Министерство строительства Вьетнама, Технические инструкции по выбору бетонных компонентов всех типов" согласно Постановлению № 778/1998/QD-BXD от 5 сентября 1998 г. 60 с. (на Вьетнамском).
25. Влияние тонкодисперсных материалов на самоуплотняемость бетонной смеси / О. А. Ларсен, С. В. Самченко, К. С. Стенекина, Д. Г. Алпацкий // Техника и технология силикатов. – 2023. – Т. 30, № 3. – С. 217-229. – EDN NFDFFF.
26. Самченко, С. В. Влияние дисперсности шлакового компонента на свойства шлакопортландцемента / С. В. Самченко, О. В. Земскова, И. В. Козлова // Техника и технология силикатов. – 2016. – Т. 23, № 2. – С. 19-23. – EDN WAOLWF.
13. Larsen, O. A. Tehnologiya pererabotki betonnogo loma s cel'yu polucheniya samouplotnyayuschegosya betona / O. A. Larsen, V. V. Narut', V. V. Voronin // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – 2020. – № 2(88). – S. 61-66. – DOI 10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66. – EDN HTTFQF.
14. Samouplotnyayuschiy beton s kompensirovannoy usadkoy s ispol'zovaniem materialov iz betonnogo loma / S. V. Samchenko, V. V. Voronin, O. A. Larsen, V. V. Narut' // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Stroitel'stvo. – 2021. – № 2(746). – S. 71-78. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-746-2-71-78. – EDN EYNTLL.
15. Zager I.Yu., Yashin'kina A.A., Andronova L.N., Sravnitel'naya ocenka produktov drobleniya gornyh porod mestorozhdeniy nerudnyh stroitel'nyh materialov Yamalo-Neneckogo AO // Stroitel'nye materialy. №5. 2011. S. 84-86. (In russ.).
16. Hoang Hong Van, Ha Zyuy Hieu, Nguen Man' Kuong, Fam Van Thin', Nguen Zuy Hieu, Chyong Thi Kim Suan, Do Chong Toan, Issledovanie vliyaniya iskusstvennogo peska i prirodnoy peschanoy smesi na osnovnye svoystva betona // Nauchnyy zhurnal po arkhitekture i stroitel'stvu. 2018. S. 90-94. (na V'etnamskom).
17. Tong Ton Kien, Tran Hoang Han, Cao Thi Hyong, Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya izdeliy iz peschanika dlya zameny prirodnoogo peska v stroitel'nyh rabotah. Sbornik dokladov Nacional'noy nauchno-tehnicheskoy konferencii «Scheben' zamenyaet prirodnyy pesok - Ekologicheskii chistyye materialy» // Izd. Stroitel'stvo. 2018. S. 83-91. (na V'etnamskom).
18. Samchenko, S. V. Svoystva cementnyh kompozitov na osnove izvestnyaka v zavisimosti ot ego granulometricheskogo sostava / S. V. Samchenko, O. V. Aleksandrova, A. Yu. Gurkin // Vestnik MGSU. – 2020. – T. 15, № 7. – S. 999-1006. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.7.999-1006. – EDN TNMMPP.
19. Samchenko, S. The effect of dispersion of limestone on the properties of cement mortar / S. Samchenko, O. Larsen, A. Gurkin // Materials Today: Proceedings: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, IC-MTMTE 2019, Sevastopol, 09–13 sentyabrya 2019 goda. Vol. 19. – Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. – P. 2068-2071. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.07.076. – EDN RVCDLT.
20. Betonny na karbonatnom syr'e dlya suhogo zharkogo klimata / S. V. Samchenko, O. A. Larsen, D. A. N. Al'obaidi [i dr.] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2022. – № 9. – S. 74-79. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.09.74-79. – EDN JZTOJO.
21. Concrete Modification for Hot Weather Using Crushed Dolomite Stone / S. V. Samchenko, O. A. Larsen, I. V. Kozlova [et al.] // Buildings. – 2023. – Vol. 13, No. 10. – P. 2462. – DOI 10.3390/buildings13102462. – EDN MGPLFU.
22. Tang Van Lam, Vu Kim Dien (2020). The possibility of using waste slag from the metallurgical industry in the production of construction materials. Science & Technology Magazine, Ministry of Industry and Trade. No. 43. October 2020.
23. T.V. Lam, B. Bulgakov, Y. Bazhenov, O. Aleksandrova, P.N. Anh (2018). Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 365. 2018. Doi:10.1088/1757-899X/365/3/032007
24. Ministerstvo stroitel'stva V'etnama, Tehnicheskie instrukcii po vyboru betonnyh komponentov vseh tipov" so gласno Postanovleniyu № 778/1998/QD-BXD ot 5 sentyabrya 1998 g. 60 s. (na V'etnamskom).
25. Vliyaniye tonkodispersnyh materialov na samouplotnyayemye betonnoy smesi / O. A. Larsen, S. V. Samchenko, K. S. Stenechikina, D. G. Alpackiy // Tehnika i tehnologiya silikatov. – 2023. – T. 30, № 3. – S. 217-229. – EDN NFDFFF.
26. Samchenko, S. V. Vliyaniye dispersnosti shlakovogo komponenta na svoystva shlakoportlandtsementa / S. V. Samchenko, O. V. Zemskova, I. V. Kozlova // Tehnika i tehnologiya silikatov. – 2016. – T. 23, № 2. – S. 19-23. – EDN WAOLWF.

27. Алимов, Л. А. Оценка влияния компонентов бетона на формирование его структуры и свойств / Л. А. Алимов, В. В. Воронин, О. А. Ларсен // Техника и технология силикатов. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 20-24. – EDN KYFYIL.
28. Ларсен, О. А. Критерии оценки структурно-технологических характеристик бетона / О. А. Ларсен, В. В. Воронин, С. В. Самченко // Техника и технология силикатов. – 2023. – Т. 30, № 2. – С. 129-143. – EDN QXSDZK.
26. Samchenko, S. V. Vliyanie dispersnosti shlakovogo komponenta na svoystva shlakoportlandementa / S. V. Samchenko, O. V. Zemskova, I. V. Kozlova // Tehnika i tehnologiya silikatov. – 2016. – Т. 23, № 2. – С. 19-23. – EDN WAOLWF.
27. Alimov, L. A. Ocenka vliyaniya komponentov betona na formirovanie ego struktury i svoystv / L. A. Alimov, V. V. Voronin, O. A. Larsen // Tehnika i tehnologiya silikatov. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 20-24. – EDN KYFYIL.
28. Larsen, O. A. Kriterii ocenki strukturno-tehnologicheskikh harakteristik betona / O. A. Larsen, V. V. Voronin, S. V. Samchenko // Tehnika i tehnologiya silikatov. – 2023. – Т. 30, № 2. – С. 129-143. – EDN QXSDZK.

Tang Van Lam – кандидат технических наук, преподаватель-исследователь, Ханойский горно-геологический университет, 18 Фо Виен, Дык Тханг, Бак Ту Лиём, Ханой, Вьетнам, E-mail: lamvantang@gmail.com

Nguyen Dinh Trinh – кандидат технических наук, преподаватель-исследователь, Университет Туйлои, Ханой, Вьетнам, E-mail: trinhnd@tlu.edu.vn

Хоанг Ань Куонг – кандидат технических наук, преподаватель-исследователь, Университет транспорта и коммуникаций, Ханой, Вьетнам, E-mail: hoanhcuong@utc.edu.vn

Булгаков Б.И. – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», E-mail: BulgakovBI@mgsu.ru (автор для связи)

Александрова О.В. – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», E-mail: AleksandrovaOV@mgsu.ru

Вклад авторов: *Tang Van Lam, Nguyen Dinh Trinh, Hoang Anh Cuong* - идея, научное руководство, научное редактирование статьи; *Bulgakov B.I.* - научное руководство, научное редактирование статьи, разработка методик, обработка материала, написание статьи; *Aleksandrova O.V.* - разработка методик, обработка материала, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Tang Van Lam – Candidate of Technical Sciences, Lecturer-Researcher, Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Vietnam, E-mail: lamvantang@gmail.com

Nguyen Dinh Trinh – Candidate of Technical Sciences, Lecturer-Researcher, Thuyloi University, Ha Noi, Vietnam, E-mail: trinhnd@tlu.edu.vn

Hoang Anh Cuong – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, University of Transport and Communications, Ha Noi, Vietnam, E-mail: hoanhcuong@utc.edu.vn

Bulgakov B.I. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering, E-mail: BulgakovBI@mgsu.ru (author for contact)

Aleksandrova O.V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering, E-mail: AleksandrovaOV@mgsu.ru

Contribution of the author: *Tang Van Lam, Nguyen Dinh Trinh, Hoang Anh Cuong* - idea, scientific guidance, scientific editing of the article; *Bulgakov B.I.* - scientific guidance, scientific editing of the article, development of methods, material processing, writing of the article; *Aleksandrova O.V.* - development of methods, material processing, writing of the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.