

ИТС

ПРОМЫШLENное
и ГРАЖДАНское
СТРОИТЕЛЬСТВО

1/2021

ЛАУРЕАТ КОНКУРСА «МОСКОВСКАЯ РЕСТАВРАЦИЯ – 2020» СЕВЕРНЫЙ РЕЧНОЙ ВОКЗАЛ, МОСКВА



Фото Е. Крижевской

С Новым годом, дорогие читатели!

СОУЧРЕДИТЕЛИ:

Российское общество инженеров строительства, Российская инженерная академия

СОДЕРЖАНИЕ**ВЕСТИ РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ**

Блочная структура периодичности и прогнозирование новых химических элементов
Гусев Б. В., Ин Иен-Лян С., Сперанский А. А. _____ 4

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Становление и развитие ключевых идей проектирования высотных конструкций
антенных сооружений
Перельмутер А. В. _____ 10

Вантовая комбинированная конструктивная система «Тенсегрити»
Еремеев П. Г. _____ 21

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Теплозащитные и влажностные свойства наружных стен зданий
из керамзитопенобетонных блоков
Ананьев А. И., Рымаров А. Г., Денщиков Н. А. _____ 28

Прочность композитов на основе модифицированного портландцемента,
активированного в аппарате вихревого слоя
Ибрагимов Р. А., Королев Е. В. _____ 35

Эксплуатационные характеристики полимерной композитной арматуры
Селезнев В. А., Какуша В. А., Ушков В. А., Чуков Н. А., Горбунов И. А. _____ 42

Влияние содержания золы-уноса на прочность бетонов на основе
сульфатостойкого портландцемента
Нго Суан Хунг, Танг Ван Лам, Булгаков Б. И., Александрова О. В., Ларсен О. А. _____ 51

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Ресурсообеспечение инвестиционно-строительной деятельности как основа обоснования
эффективности инвестиционных программ
Журавлев П. А., Марукян А. В. _____ 59

НА НАШЕЙ ОБЛОЖКЕ

Лучший объект реставрации (Информация) _____ 67

СПОНСОРЫ И ПАРТНЕРЫ

Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы,
РААСН, НИУ МГСУ, Комитет Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства,
Моспроект-2 им. М. В. Посохина, ЦНИИПромзданий, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

CO-FOUNDERS:

Russian Society of Civil Construction Engineers, Russian Engineering Academy

CONTENTS**NEWS OF THE RUSSIAN ENGINEERING ACADEMY**

Block Structure of Periodicity and Prediction of New Chemical Elements

Gusev B. V., Yin Yen-Liang S., Speranskiy A. A. _____ **4****BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND FACILITIES**On the Formation and Development of Key Ideas for the Design of High-Rise Structures
of Antenna Facilities*Perelmuter A. V.* _____ **10**

Cable-Stayed Combined Structural System "Tensegrity"

Yeremeyev P. G. _____ **21****BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS**Heat Protection and Humidity Properties of External Walls of Buildings Made
of Expanded Clay and Foam Concrete Blocks*Ananiev A. I., Rymarov A. G., Denshchikov N. A.* _____ **28**Strength of Composites on Portland Cement Modified with Carbon Nano-Tubes
and Processed in a Vortex Layer Apparatus*Ibragimov R. A., Korolev E. V.* _____ **35**

Performance Characteristics of Polymer Composite Reinforcement

Seleznev V. A., Kakusha V. A., Ushkov V. A., Chukov N. A., Gorbunov I. A. _____ **42**Effect of Fly Ash Content on Strength of Concretes Based
on Sulfate-Resistant Portland Cement*Ngo Xuan Hung, Tang Van Lam, Bulgakov B. I., Aleksandrova O. V., Larsen O. A.* _____ **51****TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION**Resource Provision of Investment and Construction Activities as the Basis of the Mechanism
for Justifying the Effectiveness of Investment Programs*Zhuravlev P. A., Marukyan A. M.* _____ **59****ON THE COVER**Best Restoration Object (*Information*) _____ **67****SPONSORS and PARTNERS**Complex of Urban Development Policy and Construction of Moscow, RAACS, Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University), Committee of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation
for Entrepreneurship in the Sphere of Construction, Mosproject-2 named after M. V. Posokhin, TSNIIPromzdany,
JSC Research Center of Construction, Research Institute of Building Constructions named after V. A. Koucherenko

Влияние содержания золы-уноса на прочность бетонов на основе сульфатостойкого портландцемента

Нго Суан ХУНГ¹ (Вьетнам), аспирант, e-mail: xuanhung1610@gmail.com

Танг Ван ЛАМ² (Вьетнам), кандидат технических наук, e-mail: lamvantang@gmail.com

Борис Игоревич БУЛГАКОВ¹, кандидат технических наук, доцент, e-mail: BulgakovBI@mgsu.ru

Ольга Владимировна АЛЕКСАНДРОВА¹, кандидат технических наук, доцент, e-mail: AleksandrovaOV@mgsu.ru

Оксана Александровна ЛАРСЕН¹, кандидат технических наук, доцент, e-mail: LarsenOA@mgsu.ru

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

² Ханойский горно-геологический университет, 18 Фо Виен, Дык Тханг, Бак Ту Лиен, Ханой, Вьетнам

Аннотация. Один из перспективных способов утилизации зол-уноса — это введение их в состав минеральных вяжущих веществ или в бетонные и растворные смеси в качестве активных минеральных добавок, обладающих пуццоланическими свойствами. Для получения бетонной смеси было использовано вяжущее, состоящее из сульфатостойкого портландцемента с тонкодисперсными минеральными добавками в виде низкокальцевой золы-уноса одной из тепловых электростанций и микрокремнезема. Кроме того, вводили суперпластификатор, в качестве заполнителей применяли речной кварцевый песок и гранитный щебень. Все материалы были местного для Вьетнама происхождения. Форму и размер частиц порошкообразных сырьевых материалов и песка определяли методом лазерной гранулометрии, состав бетонной смеси рассчитывали по методике стандарта США. Подвижность и среднюю плотность бетонной смеси, среднюю плотность бетона, прочность бетонов при сжатии и на растяжение при изгибе, их водонепроницаемость оценивали по российским нормам. Исследование микроструктуры бетонов разработанных составов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа. Установлено, что прочность при сжатии полученных бетонов повышается с увеличением содержания золы-уноса, однако при дальнейшем росте ее концентрации наблюдается снижение прочности. При этом максимальная дозировка золы-уноса в составе вяжущего позволяет получить бетон с минимальной средней прочностью при сжатии. Использование многотоннажных техногенных отходов в виде микрокремнезема и золы-уноса для получения гидротехнического бетона на местном для Вьетнама сырье позволит снизить стоимость такого бетона, а также будет способствовать защите окружающей среды от загрязнения техногенными отходами.

Ключевые слова: сульфатостойкий портландцемент, зола-уноса, микрокремнезем, поликарбоксилатный суперпластификатор, прочность при сжатии, плотность структуры.

EFFECT OF FLY ASH CONTENT ON STRENGTH OF CONCRETES BASED ON SULFATE-RESISTANT PORTLAND CEMENT

Ngo Xuan HUNG¹, e-mail: xuanhung1610@gmail.com

Tang Van LAM², e-mail: lamvantang@gmail.com

Boris I. BULGAKOV¹, e-mail: BulgakovBI@mgsu.ru

Olga V. ALEKSANDROVA¹, e-mail: AleksandrovaOV@mgsu.ru

Oksana A. LARSEN¹, e-mail: LarsenOA@mgsu.ru

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'shoss, 26, Moscow 129337, Russian Federation

² Hanoi University of Mining and Geology, 18 Pho Vien, DucThang, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam

Abstract. In current work was to investigate the strength kinetics of high-quality concrete with different contents of fly ash and sulphate-resistant Portland cement. In addition, the maximum amount of fly ash in the concrete mixture was determined, which allows obtaining high-quality concrete. Sulphate-resistant Portland cement was used with the addition of fly ash, silica fume and a superplasticizer. Quartz sand and limestone crushed stone were used as aggregates. The shape and size of the particles of raw materials was performed using the method of laser granulometry, while the composition of the concrete mixture was calculated according to american standard. The workability of concrete mixture, the average density of concrete, the compressive and flexural strength of concrete are determined, their water resistance was determined according to russian standarts, research the microstructure of the concrete of the developed compositions was carried out using a scanning electron microscope. The compressive strength of high-quality concrete increases with an increase in the content of fly ash in concrete mixes by a mass of used sulphate-resistant Portland cement. With further growth of content of the fly ash, the strength of concrete was decreased.

Key words: sulphate-resistant Portland cement, fly ash, silica fume, polycarboxylate superplasticizer, compressive strength, structure density.

Введение

Бетонные и железобетонные конструкции в ходе эксплуатации разрушаются в результате протекания различных химических, электрохимических, физико-химических и физико-механических коррозионных процессов [1–3]. Особенно остро данная проблема проявляется на побережье Вьетнама (рис. 1). За годы эксплуатации зданий и сооружений гидротехнического назначения в условиях жаркого и влажного климата в их конструкциях появляются повреждения, вызванные коррозионными процессами, протекающими под действием агрессивных морских и грунтовых вод [4–6].

Учитывая рост масштабов строительных работ в прибрежной зоне страны, для гарантированного обеспечения проектного срока эксплуатации возводимых объектов морской инфраструктуры возрастает значение не только их качественного исполнения, но и правильного выбора бетонов, цементов и других вяжущих, обладающих требуемыми свойствами и необходимой коррозионной стойкостью.

Для многих стран мира, в том числе и для Вьетнама, поиск эффективных путей повышения коррозионной стойкости бетонов объектов морской и прибрежной инфраструктуры — одна из важнейших задач, решение которой позволит обеспечить необходимую долговечность железобетонных конструкций в условиях воздействия морских агрессивных сред [7–9].

Основная часть

Социалистическая Республика Вьетнам (СРВ) — современное государство в Юго-Восточной Азии с быстро растущей экономикой. Для того чтобы обеспечить высокий темп промышленного развития требуется большое количество электроэнергии. Основной ис-



Рис. 1. Повреждение железобетонных гидротехнических конструкций в результате коррозии в морской воде, Вьетнам

точник ее производства в настоящее время — это более 20 теплоэлектростанций (ТЭС). Они работают на угле, имеющем значительные природные запасы. В результате ежегодно образуется более 28 млн т топливных золошлаковых отходов и гипсового шлама, что ухудшает экологическую ситуацию в стране и требует их утилизации. Однако ограниченная площадь территории Вьетнама не позволяет использовать земельные ресурсы для их захоронения [10, 11].

К одному из перспективных способов утилизации зол-уноса ТЭС относится введение их в состав минеральных вяжущих веществ, а также в бетонные и растворные смеси в качестве активных минеральных добавок, обладающих пролонгированными пуццоланическими свойствами благодаря значительному содержанию аморфного кремнезема [12, 13].

В исследованиях [13–15] было изучено, как минеральные добавки, включающие нано- и микрокремнезем, золу-уноса, золу

рисовой шелухи и известняковый наполнитель, влияют на деформации образцов из растворов и бетонов на основе портландцемента в сульфатосодержащих агрессивных средах. Главным направлением использования сульфатостойкого портландцемента с минеральными добавками становится получение коррозионно-стойких бетонов для гидротехнического строительства [16–18].

Авторы данной статьи исследовали прочность бетонов на сульфатостойком портландцементе с различным содержанием золы-уноса при замене части цемента с целью снижения стоимости бетона с сохранением заданной прочности.

Кроме того, была определена максимальная дозировка золы-уноса в составе вяжущего, что позволило получить бетон, соответствующий требованиям ГОСТ 25192–2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» по классу прочности при сжатии В55.

Сырьевые материалы

В исследовании использовали местные для Вьетнама материалы:

- сульфатостойкий портландцемент (СЦ) типа ЦЕМ I СС 42,5Н производства завода «Там Дьеп». Его состав и свойства соответствовали требованиям ГОСТ 22266–2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия», характеристики приведены в табл. 1;
- низкокальциевая зола-уноса (ЗУ) ТЭС «Вунг Анг» класса F, отвечающая требованиям ГОСТ 25818–2017 «Золы-уноса тепло-

1. Минеральный состав и физико-механические характеристики портландцемента ЦЕМ I СС 42,5 Н

Минеральный состав, % по массе					Равномерность изменения объема в кольце Лешателье, мм	Нормальная плотность, %	Начало схватывания, мин	Прочность при сжатии, МПа	
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	др.				2 сут	28 сут
62,77	21,34	2,06	11,03	2,8	6,5	29,3	115	18,4	50,5

вых электростанций для бетонов. Технические условия», и микрокремнезем SF-90 (МК-90) производства фирмы «Vina-Pacific». Показатели использованных тонкодисперсных материалов даны в табл. 2;

- кварцевый песок (П) р. Ло с размером зерен 0,14–5 мм, модулем крупности МК = 3,1. Истинная плотность составляла 2,62 г/см³, средняя насыпная плотность в уплотненном состоянии — 1540 кг/м³. Использованный песок соответствовал требованиям, предъявляемым к пескам I класса по ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия»;

- гранитный щебень (Щ) из карьера «Киен Кхе» фракции 5–10 мм с истинной плотностью 2,66 г/см³ и насыпной плотностью в уплотненном состоянии 1580 кг/м³. Крупный заполнитель отвечал требованиям ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» (с изменениями № 1–4);

- поликарбоксилатный суперпластификатор (СП) SR 5000F производства фирмы «Silk Road» (Южная Корея) с плотностью 1,1 г/см³ при температуре 20 ± 5 °C;

- в качестве воды затворения использовали водопроводную воду (В), отвечающую требованиям ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

С помощью метода лазерной гранулометрии на приборе «ВТ-9300z» (КНР) в Институте строительной науки и технологии (СРВ) были определены гранулометрические составы микрокремнезема, кислой золы-уноса, сульфатостойкого портландцемента и кварцевого песка (рис. 2).

Методы исследований

При разработке бетонной смеси применяли следующие методики:

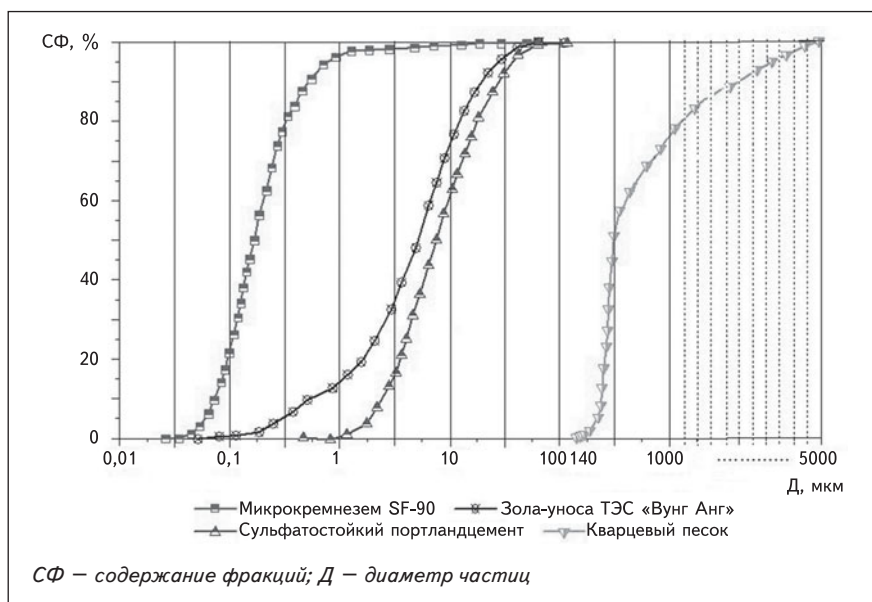
2. Химический состав и физические характеристики тонкодисперсных материалов

Средний химический состав, % по массе	ЗУ ТЭС «Вунг Анг»	МК-90	СЦ
SiO ₂	54,67	91,65	20,45
Al ₂ O ₃	25,12	2,25	4,35
Fe ₂ O ₃	7,11	1,75	5,24
SO ₃	0,25	0,95	3,53
K ₂ O	2,18	0,12	0,85
Na ₂ O	0,95	0,55	1,14
MgO	1,57	—	2,35
CaO	2,65	0,48	59,04
TiO ₂	1,83	—	—
P ₂ O ₅	1,63	—	—
Потери при прокаливании	2,04	2,25	3,05
Средний размер частиц, мкм	7,18	0,243	8,365
Плотность, г/см ³ :			
истинная	2,22	2,25	3,12
насыпная	0,765	0,45	1,1
Удельная поверхность, м ² /г	5,342	14,455	0,365
Водопотребность, %	29,9	31,7	29,3

3. Бетонная смесь предварительного состава и ее свойства

Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг							В/Вяж	ОК, см	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³
СЦ	П	Щ	ЗУ	МК-90	СП	В			
485	495	1166	0	48,5	5,34	176	0,33	15	2364

Рис. 2. Гранулометрический состав сырьевых компонентов



4. Составы бетонных смесей, средние плотность и прочность бетонов при сжатии

№ состава	ЗУ/СЦ	Составы бетонных смесей, кг/м ³				ОК, см	Средняя плотность в возрасте 28 сут, кг/м ³	Средняя прочность при сжатии, МПа, в возрасте твердения, сут				
		СЦ	П	ЗУ	МК-90			1	3	7	14	28
1 (контрольный)	0	485	495	0	48,5	15	2340	21,4	35,7	50,6	64,9	71,3
2	0,1	445	481	44,5	44,5	14	2344	25,1	38,4	55,4	69,4	73,8
3	0,2	411	469	82,2	41,1	12	2349	26,7	44,5	57,1	70,4	74,1
4	0,3	381	459	114,3	38,1	11	2328	23,4	40,4	51,8	65,2	70,9
5	0,4	356	451	142,4	35,6	10	2319	19,2	30,9	42,2	60,2	68,4

• предварительный состав бетонной смеси определяли по стандарту ACI 211.4R-08 (США) [19];

• подвижность бетонной смеси оценивали согласно ГОСТ 10181–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» по осадке конуса (ОК) в сантиметрах с помощью стандартного конуса размером 100×200×300 мм;

• среднюю плотность бетонной смеси рассчитывали также по ГОСТ 10181;

• среднюю плотность бетона устанавливали на образцах-кубах размером 100×100×100 мм согласно ГОСТ 12730.1–78 «Бетоны. Методы определения плотности»;

• прочность бетонов при сжатии получали при испытаниях образцов-кубов размером 150×150×150 мм, на растяжение при изгибе — на образцах-призмах размером 100×100×400 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»;

• водонепроницаемость бетонов определяли на образцах-цилиндрах диаметром 150 мм и высотой 50 мм по ГОСТ 12730.5–2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости»;

• исследование микроструктуры бетонов разработанных составов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta-450 (Япония) в Институте высоких технологий Ханойского

горно-геологического университета;

• влияние золоцементного отношения на кинетику набора прочности разработанных бетонов оценивали на основе полученных экспериментальных результатов.

Результаты исследования

Проектируемая бетонная смесь должна:

• обладать удобоукладываемостью по осадке стандартного конуса ОК = 10...15 см;

• обеспечивать возможность получения высокопрочного бетона по ГОСТ 25192 класса В55 с прочностью при сжатии в возрасте 28 сут не менее 70,6 МПа;

• допускать использование микрокремнезема для замены 10 % массы портландцемента [20].

Количество поликарбоксилатного суперпластификатора SR 5000F в составе органо-минеральной добавки, равное 1 % массы вяжущего, и расчетный объем вовлеченного воздуха (2,5 %) были выбраны на основании результатов работы [21].

Водовязующее отношение В/Вяз составило 0,33, где Вяз = СЦ + МК-90 + ЗУ.

Результаты определения предварительного состава бетонной смеси, проведенные с помощью стандарта ACI 211.4R-08, а также данные экспериментальной оценки ее подвижности и средней плотности представлены в табл. 3. Полученный на ее основе бетон контрольного состава в воз-

расте 28 сут имел прочность на растяжение при изгибе, равную 5,87 МПа, водонепроницаемость — 0,8 МПа.

Для последующего исследования влияния на прочность бетона золоцементного отношения ЗУ/СЦ был выбран его диапазон в пределах от 0,1 до 0,4. Количество СП и МК-90 в составе бетонной смеси было соответственно 1 % массы вяжущего и 10 % массы портландцемента. Расходы Щ, В и СП были постоянными и составляли соответственно 1166, 176 и 5,34 кг. Расход песка в 1 м³ бетонной смеси для получения слитной структуры бетона определяли по методу абсолютных объемов.

Составы бетонных смесей, рассчитанные с помощью стандарта ACI 211.4R-08 и метода абсолютных объемов, а также средние плотность и прочность при сжатии $R_{сж}^{ср}$ бетонных образцов в разных возрастах твердения B_t в нормальных условиях представлены в табл. 4 и на рис. 3.

Из приведенных в табл. 4 и на рис. 3 экспериментальных результатов следует, что прочность при сжатии бетонов разработанных составов повышается с увеличением содержания золы-уноса ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего до 20 % массы портландцемента при замене его части, а при дальнейшем росте ее концентрации до 40 % наблюдается снижение прочности бетона.

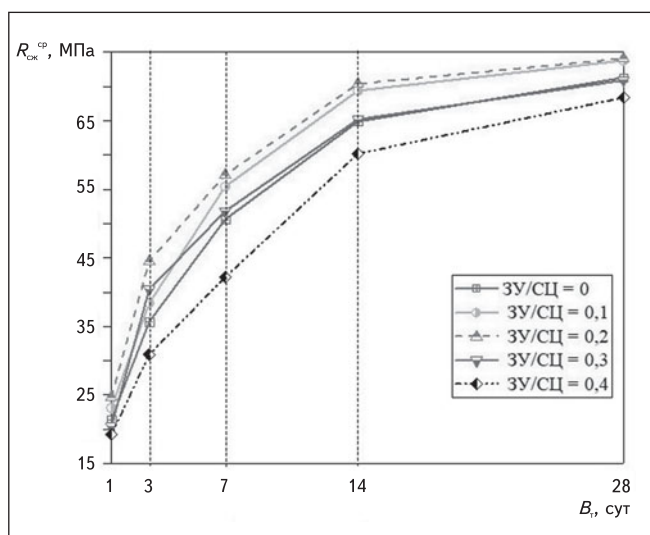


Рис. 3. Рост прочности при сжатии бетонов разработанных составов в зависимости от возраста твердения B_t и соотношения ЗУ и СЦ в составе вяжущего

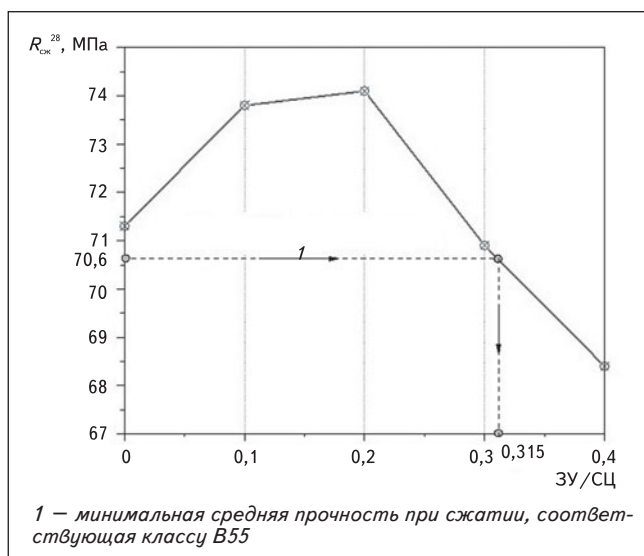


Рис. 4. Влияние отношения ЗУ/СЦ в составе вяжущего на прочность при сжатии бетонов разработанных составов

Это можно объяснить тем, что с увеличением содержания до определенного уровня тонкодисперсных минеральных добавок в виде МК-90 и ЗУ ТЭС «Вунг Анг», дисперсность которых превосходит дисперсность цемента, а также из-за пористости частиц золы, поглощающих часть воды на начальном этапе структурообразования, возрастает плотность упаковки частиц в структуре бетона.

При этом за счет получения необходимого количества цементно-водно-минеральной суспензии, создающей достаточную толщину обмазки зерен заполнителей, обеспечивается заданная удобоукладываемость бетонной смеси. В результате цементная матрица, наполненная тонкодисперсной минеральной добавкой, уменьшается в объеме и становится более плотной и прочной [22, 23].

При дальнейшем увеличении содержания ЗУ до 40 % взамен части цемента в составе вяжущего снижается концентрация гидросиликатов кальция — основных продуктов гидратации цемента, определяющих рост прочности бетона, что сопровождается

снижением его плотности и повышением пористости. Причина этого, по-видимому, состоит в уменьшении суммарного объема гидратных новообразований, формирующих структуру цементного камня бетона, определяющих его плотность и пористость. Это вызвано снижением концентрации цемента в составе вяжущего, поскольку низкокальцевая зола-уноса, замещающая его часть, в отличие от цемента гидравлической активностью не обладает и в химическую реакцию с водой с образованием продуктов гидратации не вступает.

Зависимость прочности при сжатии разработанных бетонов в возрасте 28 сут нормального твердения $R_{сж}^{28}$ от отношения ЗУ/СЦ в составе вяжущего показана на рис. 4.

На основе полученных экспериментальных результатов можно констатировать, что максимальная дозировка ЗУ ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего для получения бетона с минимальной требуемой средней прочностью при сжатии $R_{сж}^{ср}$ в возрасте 28 сут нормального твердения, соответствующей классу

В55, т. е. начальному классу высокопрочных бетонов по ГОСТ 25192, и равной 70,6 МПа, составляет 31,5 % массы использованного сульфатостойкого портландцемента (см. рис. 3). Если количество золы-уноса превышает данное значение, то это приводит к снижению прочности бетона при сжатии, что не позволяет считать полученный бетон высокопрочным.

Изображения микроstructures бетонов разработанных составов в возрасте 28 сут нормального твердения получены с помощью метода электронной микроскопии (рис. 5). Их анализ показывает, что микроstructure бетона зависит от содержания золы-уноса ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего. При этом наиболее плотная микроstructure наблюдается у бетона, содержащего 20 % золы-уноса массы портландцемента. Приведенные результаты электронно-микроскопического анализа структуры разработанных бетонов коррелируются с результатами определения их средней плотности и прочности при сжатии, представленными в табл. 4 и на рис. 3 и 4.

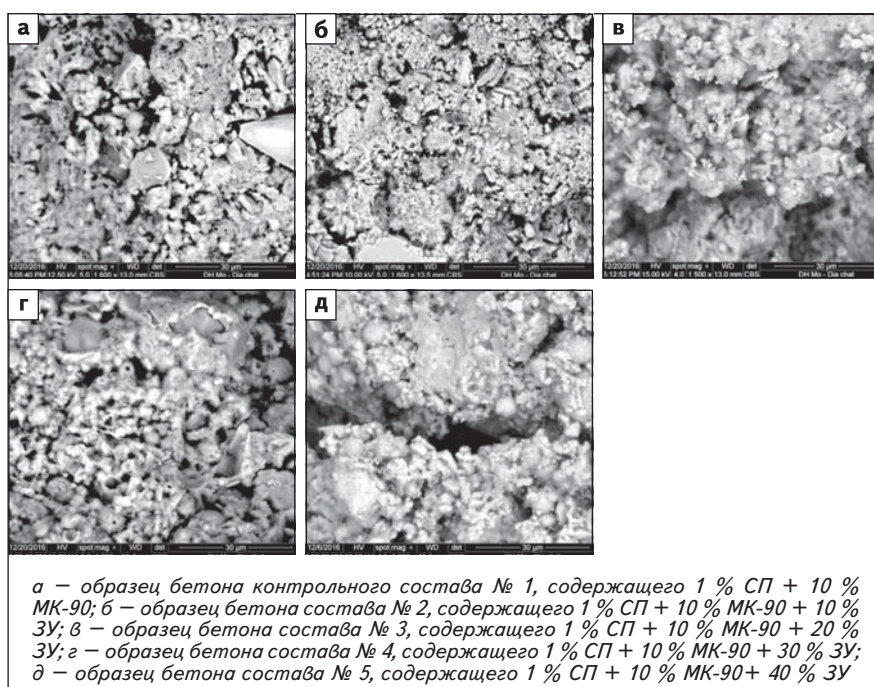


Рис. 5. Микроструктура бетонов разработанных составов в возрасте 28 сут нормального твердения, $\times 6000$

Выводы

1. Прочность при сжатии бетонов разработанных составов увеличивается с ростом содержания золы-уноса ТЭС «Вунг Анг» в вяжущем до 20 % массы использованного сульфатостойкого портландцемента. При дальнейшем увеличении расхода золы до 40 % происходит снижение прочности. Установленную закономерность можно объяснить тем, что с повышением содержания тонкодисперсных минеральных

добавок МК-90 и ЗУ, дисперсность которых превосходит дисперсность цемента, а также из-за пористости частиц золы, поглощающих часть воды на начальном этапе структурообразования, возрастает плотность упаковки частиц в структуре бетона. При этом за счет получения необходимого количества цементно-водно-минеральной суспензии, создающей достаточную толщину обмазки зерен заполнителей, обеспечивается заданная

удобоукладываемость бетонной смеси.

2. Увеличение содержания ЗУ до 40 % для замены части цемента в составе вяжущего уменьшает концентрацию гидросиликатов кальция — основных продуктов гидратации цемента, определяющих рост прочности бетона в ходе гидратации вяжущего. Это сопровождается снижением плотности бетона и повышением его пористости, что подтверждают результаты растровой электронной микроскопии.

3. Экспериментальным путем установлено, что максимальная дозировка низкокальциевой ЗУ ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего для получения бетона с требуемой минимальной средней прочностью при сжатии в возрасте 28 сут нормального твердения, соответствующей начальному классу высокопрочных бетонов В55 по ГОСТ 25192 и равной 70,6 МПа, составляет 31,5 % массы использованного сульфатостойкого портландцемента. Данный результат был получен при добавлении в бетонную смесь 1 % поликарбоксилатного суперпластификатора SR 5000F массы вяжущего и 10 % микрокремнезема SF-90 массы сульфатостойкого портландцемента при водовязующем отношении В/Вяз = 0,33, где Вяз = СЦ + МК + ЗУ.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ануфриева Е. В. Коррозионностойкий бетон для гидротехнического строительства // Градостроительные аспекты устойчивого развития крупных городов. Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2009. № 93. С. 537–541.
1. Anufriyeva Ye. V. Corrosion resistant concrete for hydraulic engineering. *Gradostroitel'nye aspekty us-toyichivogo razvitiya krupnykh gorodov* [Urban planning aspects of the sustainable development of large cities]. Kharkiv, KNUGH named after A. N. Beke-tov Publ., 2009, no. 93, pp. 537–541. (In Russian).
2. Santhanam M., Cohen M. D., Olek J. Differentiating seawater and groundwater sulfate attack on Portland cement mortars [Различное воздействие сульфатов морской воды и подземных вод на портландцементные растворы]. *Cement and Concrete Research*, 2006, vol. 36(12), pp. 2132–2137. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.09.011> (accessed 20.08.2020).
3. Chindaprasirt P., Kanchanda P., Sathonsaowaphak A., Cao H. T. Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash [Сульфатостой-кость смешанных цементов, содержащих золу-уно-са и золу рисовой шелухи]. *Construction and Building Materials*, 2007, no. 21, pp. 1356–1361. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.10.005> (accessed 8.09.2020).
4. Lam Van Tang, Hung Xuan Ngo, Dien Vu Kim, Bulgakov B. I., Aleksandrova O. V. Effect of complex organo-mineral modifier on the properties of corrosion-resistant concrete [Влияние комплексного органо-минераль-ного модификатора на свойства коррозионностой-

- кого бетона]. *MATEC Web of Conferences*, 2018, no. 251, p. 01005.
Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101005> (accessed 12.08.2020).
5. Si-Huy Ngo, Trong-Phuoc Huynh, Thanh-Tam Thi Le, Ngoc-Hang Thi Mai. Effect of high loss on ignition-fly ash on properties of concrete fully immersed in sulfate solution [Влияние топливной золы-уноса на свойства бетона, полностью погруженного в сульфатный раствор]. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2018, no. 371, p. 012007.
DOI:10.1088/1757-899X/371/1/012007.
6. Santhanam M., Otiemo M. Deterioration of concrete in the marine environment [Коррозия бетона в морской среде]. *Marine Concrete Structures. Design, Durability and Performance*. 2016, pp. 137–149.
Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100081-6.00005-2> (accessed 20.08.2020).
7. Shehata Medhat H., Adhikari Giri, Radomski Shaun. Long-term durability of blended cement against sulfate attack [Длительная работоспособность смешанного цемента в условиях сульфатной коррозии]. *ACI Materials Journal*, 2008, vol. 105(6), pp. 594–602.
8. Galan I., Perron L., Glasser F. P. Impact of chloride-rich environments on cement paste mineralogy [Влияние сред с высоким содержанием хлоридов на минералогию цементного теста]. *Cement and Concrete Research*, 2015, vol. 68, pp. 147–183.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.017> (accessed 12.08.2020).
9. Григорьев В. Г., Козлова В. К., Андрияшина Е. Е. [и др.]. Композиционные портландцементы для гидротехнического строительства // Ползуновский вестник. 2012. № 1/2. С. 62–64.
9. Grigor'yev V. G., Kozlova V. K., Andryushina Ye. Ye. et al. Composite Portland cements for hydraulic engineering. *Polzunovskiy vestnik*, 2012, no. 1/2, pp. 62–64. (In Russian).
10. Ngo Van Toan. Research on the production of high-strength concrete using fine sand and mineral additives mixed with activated blast-furnace slag and rice husk ash [Исследования в области получения высокопрочного бетона с использованием мелкого песка и минеральных добавок, смешанных с активированным доменным шлаком и золой рисовой шелухи]. *Magazine Building Materials — Environment*, 2012, no. 4, pp. 36–45.
11. Torii K., Taniguchi K., Kawamura M. Sulfate resistance of high fly ash content concrete [Сульфатостойкость бетона с высоким содержанием золы-уноса]. *Cement and Concrete Research*, 1995, no. 25, pp. 759–768.
Available at: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00066-L](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00066-L) (accessed 16.06.2020).
12. Sumer M. Compressive strength and sulfate resistance properties of concretes containing class F and class C fly ashes [Прочность на сжатие и сульфатостойкость бетонов, содержащих золу-уноса класса F и C]. *Construction and Building Materials*, 2012, no. 34, pp. 531–536.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.023> (accessed 8.09.2020).
13. Ghafoori N., Batilov I., Najimi M., Sharbaf M. R. Sodium sulfate resistance of mortars containing combined nanosilica and microsilica [Устойчивость к сульфату натрия растворов, содержащих комбинацию нанокремнезема и микрокремнезема]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, vol. 30(7), pp. 1–11.
Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002318](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002318) (accessed 12.08.2020).
14. Ben Ju Yang, Qiu Yi Li, Song Gao, Tao Li. Research on the sulfate corrosion-resistance admixture for concrete [Исследование сульфатной коррозионно-стойкой добавки для бетона]. *Advanced Materials Research*, 2011, vol. 250–253, pp. 327–330.
Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.250-253.327> (accessed 16.06.2020).
15. Sahmaran M., Kasap O., Duru K., Yaman I. O. Effects of mix composition and water-cement ratio on the sulfate resistance of blended cements [Влияние состава смеси и водоцементного отношения на сульфатостойкость смешанных цементов]. *Cement and Concrete Composites*, 2007, no. 29, pp. 159–167.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.11.007> (accessed 16.06.2020).
16. Васильева Д. В. Сульфатостойкий портландцемент с применением горелой породы // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. С. 1461–1465.
16. Vasil'yeva D. V. Sulfate-resistant Portland cement using burnt rock. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova* [International scientific and technical conference of young scientists BSTU named after V. G. Shukhov], 2017, pp. 1461–1465. (In Russian).
17. Irassar E. F., Maio A. D., Batic O. R. Sulfate attack on concrete with mineral admixtures [Сульфатная коррозия бетона с минеральными добавками]. *Cement and Concrete Research*, 1996, no. 26, pp. 113–123.
Available at: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00195-6](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00195-6) (accessed 14.09.2020).
18. Harish Kizhakkumodom Venkatanarayanan, Prasada Rao Rangaraju P. E. Evaluation of sulfate resistance of Portland cement mortars containing low-carbon rice husk ash [Оценка сульфатостойкости портландцементных растворов, содержащих низкоуглеродистую золу рисовой шелухи]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2014, April, pp. 582–592.
Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000868](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000868) (accessed 30.07.2020).
19. ACI 211.4R-08. *Guide for selecting proportions for high-strength concrete using Portland cement and other cementitious materials* [Гид для выбора пропорций для бетона высокой прочности, используя портландцемент и другие цементирующие материалы].
20. Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Ву Ким Зиен [и др.]. Влияние водовяжущего отношения и комплексной органо-минеральной добавки на свойства бетона для морских гидротехнических сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 3. С. 11–21.
DOI: 10.33622/0869-7019.2019.03.11-21.
20. Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, Vu Kim Dien et al.

Effect of water-binder ratio and complex organic-mineral additive on properties of concrete for marine hydrotechnical constructions. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2019, no. 3, pp. 11–21. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.03.11-21. (In Russian).

21. Lam Van Tang, Bulgakov B., Aleksandrova O., Anh Ngoc Pham, Bazhenov Yu. Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior [Влияние золы рисовой шелухи на поведение гидротехнических бетонов]. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2018, no. 365, p. 032007. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032007> (accessed 17.09.2020).
22. Баженова С. И. Получение высококачественного бетона с использованием модификаторов структуры на основе отходов промышленности // Техни-

ческие науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 20–23 марта 2011 г.). СПб : Реноме, 2011. С. 23–25.

22. Bazhenova S. I. Production of high-quality concrete using structural modifiers based on industrial waste. *Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy: materialy mezhdunar. nauch. konf.* [Technical sciences: problems and prospects (Saint Petersburg, March 20–23, 2011)]. 2011, pp. 23–25. (In Russian).
23. Алимов Л. А. [и др.]. Дилатометрический метод анализа структуры наномодифицированных бетонов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 4. С. 58–61.
23. Alimov L. A. et al. Dilatometric method for analyzing the structure of nano-modified concretes. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 4, pp. 58–61. (In Russian).

Для цитирования: Нго Суан Хунг, Танг Ван Лам, Булгаков Б. И., Александрова О. В., Ларсен О. А. Влияние содержания золы-уноса на прочность бетонов на основе сульфатостойкого портландцемента // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 1. С. 51–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.01.51-58.

For citation: Ngo Xuan Hung, Tang Van Lam, Bulgakov B. I., Aleksandrova O. V., Larsen O. A. Effect of Fly Ash Content on Strength of Concretes Based on Sulfate-Resistant Portland Cement. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 1, pp. 51–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.01.51-58. (In Russian).

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Для публикации статьи в нашем журнале вам необходимо представить:

- сопроводительное письмо-заявку (форму нужно скачать с сайта www.pgs1923.ru, раздел «Авторам»);
 - экспертное заключение о возможности публикации статьи в открытой печати (для тематики, по которой такие запреты возможны, например строительство атомных станций, загрязнение окружающей среды и т. п.);
 - электронную версию статьи;
 - список цитируемой или использованной литературы (желательно не менее 20 источников), оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка» (по аналогии со списками литературы, приводимыми в конце диссертаций). Русскоязычные источники обязательно должны содержать транслитерацию на латинице (<http://ru.translit.net>, вариант BGN). При этом после транслитерируемого заглавия статьи или книги в квадратных скобках дается перевод названия статьи или книги на английский язык. Аналогично: для иностранных источников в квадратных скобках дается перевод заглавия статьи или книги на русский язык;
 - аннотацию (150–200 слов) и ключевые слова (5–10 слов или словосочетаний) на русском и английском языках;
 - индекс УДК;
 - сведения об авторах на русском и английском языках: полное имя и отчество, фамилия; точное место работы или учебы каждого автора; адрес места работы или учебы; электронный адрес для публикации в журнале и для высылки корректуры статьи (разграничить, что для публикации, а что только для редакции), номера телефонов авторов для снятия вопросов по статье (телефоны не публикуются, а используются только для оперативного решения возникающих вопросов).
2. Рекомендуемый объем статьи — до 12–15 страниц

(включая таблицы и рисунки), с умеренным количеством формул (без их вывода на страницах журнала).

3. Плата за публикацию научных статей с аспирантов не взимается.

4. Статьи, содержащие формулы и пересылаемые по электронной почте, помимо word-файла, должны дублироваться pdf-файлом, чтобы избежать искажения формул.

5. Единицы физических величин должны быть приведены в соответствие с Международной системой единиц (СИ).

6. Рисунки и таблицы должны иметь названия.

7. Список литературы должен содержать преимущественно ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов, в первую очередь статьи, опубликованные за последние пять лет в рецензируемых изданиях.

Не следует ссылаться на учебники, учебные пособия, научно-популярную литературу, авторефераты и диссертации (если они не находятся в открытом доступе в Интернете). Полное описание ГОСТ, СНиП, постановлений и т. п. приводится непосредственно в тексте статьи при первом упоминании, в дальнейшем указывают только номер документа.

8. Следует избегать необоснованного самоцитирования. Рекомендуемый объем ссылок на собственные работы — 20 %.

9. Все поступившие статьи проходят процесс рецензирования.

10. Статья, принятая к публикации в согласованные автором и редакцией сроки, проходит принятый в редакции процесс доработки, включающий редактирование, снятие вопросов с автором, художественно-техническое редактирование, верстку, корректуру.

11. С техническими требованиями к оформлению статей можно ознакомиться на сайте: www.pgs1923.ru.

12. Рукописи статей, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.