

УДК 666.972.55

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-19-25>

О.В. АЛЕКСАНДРОВА¹, канд. техн. наук (AleksandrovaOV@mgsu.ru),
 Б.И. БУЛГАКОВ¹, канд. техн. наук (BulgakovBI@mgsu.ru),
 С.В. ФЕДОСОВ¹, д-р техн. наук (FedosovSV@mgsu.ru);
 НГУЕН ДЫК ВИНЬ КУАНГ², канд. техн. наук (ndvquang@hueic.edu.vn);
 О.Б. ЛЯПИДЕВСКАЯ¹, канд. техн. наук (LyapidevskayaOB@mgsu.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² Индустриальный колледж Хюэ (530000, Социалистическая Республика Вьетнам, г. Хюэ, Нгуен Хюэ Стрит, 70)

Применение белого кварцевого песка для получения бетонов высокой прочности

Речной кварцевый песок в Социалистической Республике Вьетнам становится дефицитным сырьевым материалом для строительной индустрии из-за больших объемов его использования при ограниченных ресурсах и высокой потребности в нем других отраслей промышленности. С учетом ежегодно возрастающей потребности в кварцевом песке, обусловленной высокими темпами развития строительной отрасли во Вьетнаме, велика опасность скорого истощения ресурсов речного кварцевого песка. Кроме того, чрезмерная добыча речного песка пагубно сказывается на экологии речных акваторий, а также на условиях проживания людей на их берегах. Поэтому актуальным является поиск альтернативных источников кварцевого песка. Представляется перспективным исследовать возможность замены речного песка как необходимого сырьевого компонента для получения строительных растворов и бетонов различного назначения, в том числе и высокопрочных, природным белым кварцевым песком, добываемым из карьеров, залежи которого имеются на всей территории Вьетнама и потенциальные запасы которого оцениваются в несколько миллиардов кубометров. Были использованы сульфатостойкий портландцемент производства вьетнамского завода «Luks Cement», местный гранитный щебень в виде смеси фракций 5–10 и 10–20 мм, природные речной и белый кварцевые пески, а также водоредуцирующий поликарбонатный суперпластификатор и тонкодисперсные минеральные добавки для частичной замены сульфатостойкого портландцемента в составе многокомпонентного вяжущего в виде ультра- и нанодисперсного кремнезема, золы-уноса тепловой электростанции «Фа Лай» и кварцевого порошка, полученного в результате тонкого помола белого песка. Для проектирования составов бетонных смесей был использован метод стандарта Вьетнама TCVN 10306:2014. Прочностные показатели разработанных бетонов определяли с помощью универсальной испытательной установки «Matest» модели C089-17N (Италия): при сжатии определяли – на образцах-кубах размером 100×100×100 мм в возрасте 3, 7 и 28 сут нормального твердения, на растяжение при изгибе – на образцах-призмах размером 100×100×400 мм, на растяжение при раскалывании – на образцах-цилиндрах размером 100×200 мм в возрасте 28 сут. Водопоглощение бетонов определяли на образцах-кубах размером 100×100×100 мм после 28 сут твердения в нормальных условиях. Плотность структуры бетонов оценивали путем определения ее проницаемости для ионов хлора с использованием бетонных образцов-дисков диаметром 100±2 мм и толщиной 50±3 мм. Установлено, что увеличение содержания доли белого песка в составе мелкого заполнителя приводит к снижению водопоглощения бетона и проницаемости его структуры для хлорид-ионов. Так, при 100%-й замене речного песка белым песком значения водопоглощения и общей величины электрических зарядов, прошедших через бетонные образцы за 6 ч проведения испытаний, составили 0,37 мас. % и 72,4 Кл соответственно, в то время как у образцов бетона, содержащего 100% речного песка, эти показатели составляют соответственно 0,44 мас. % и 284,2 Кл. При этом наибольшие значения прочности при сжатии, а также на растяжение при изгибе и раскалывании, равные соответственно 107,5; 12,2 и 8,07 МПа, были получены при испытании образцов бетона, содержащего 100 мас. % белого кварцевого песка и 1,5 мас. % нанодисперсного кремнезема в составе многокомпонентного вяжущего. Таким образом, экспериментально подтверждена возможность замены дефицитного во Вьетнаме речного песка белым кварцевым песком, позволяющей получать бетоны, обладающие плотной структурой и высокими прочностными показателями.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, природный кварцевый песок, тонкодисперсные минеральные добавки, прочностные показатели, водопоглощение, плотность и проницаемость структуры бетона.

Для цитирования: Александрова О.В., Булгаков Б.И., Федосов С.В., Нгуен Дык Винь Куанг, Ляпидевская О.Б. Применение белого кварцевого песка для получения бетонов высокой прочности // *Строительные материалы*. 2022. № 11. С. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-19-25>

O.V. ALEKSANDROVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (AleksandrovaOV@mgsu.ru),

B.I. BULGAKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (BulgakovBI@mgsu.ru),

S.V. FEDOSOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (FedosovSV@mgsu.ru),

NGUYEN DUC VINH QUANG², Candidate of Sciences (Engineering) (ndvquang@hueic.edu.vn),

O.B. LYAPIDEVSKAYA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (LyapidevskayaOB@mgsu.ru)

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

² Hue Industrial College (70, Nguyen Hue Str., Hue City, Vietnam)

Use of White Quartz Sand for High-Strength Concrete

River quartz sand in the Socialist Republic of Vietnam is becoming a scarce raw material for the construction industry due to the large volumes of its use with limited resources and the high demand for it in other industries. Taking into account the annually increasing demand for quartz sand, due to the high rate of development of the construction industry in Vietnam, there is a great danger of an early depletion of river quartz sand resources. In addition, excessive extraction of river sand negatively affects the ecology of river waters, as well as the living conditions of people on their shores. Therefore, the search for alternative sources of quartz sand is relevant. It seems promising to explore the possibility of replacing river sand as a necessary raw material component for the production of mortars and concretes for various purposes, including high-strength ones, with natural white quartz sand extracted from quarries, deposits of which are available throughout Vietnam and whose potential reserves are estimated at several billion cubic meters. Sulphate-resistant Portland cement produced by the Vietnamese plant "Luks Cement", local crushed granite in the form of a mixture of fractions of 5–10 and 10–20 mm, natural river and white quartz sands, as well as a water-reducing polycarboxylate superplasticizer and fine mineral additives were used to partially replace sulfate-resistant Portland cement in the composition of a multicomponent binder in the form of ultra- and nanodispersed silica, fly ash from the thermal power plant "Fa Lai" and quartz powder obtained as a result of fine grinding of white sand. Vietnamese standard TCVN 10306:2014 was used to design concrete mixtures. The strength indicators of the developed concretes were determined using the universal testing machine "Matest" model C089-17N (Italy): compressive strength was determined on cube samples 100×100×100 mm in size at the age of 3, 7 and 28 days of normal hardening, flexural strength – on prism samples 100×100×400 mm in size, tensile splitting strength – on cylinder samples 100×200 mm in size at the age of 28 days. Water absorption of concretes was determined on cube samples 100×100×100 mm in size after 28 days of hardening under normal conditions. The density of the concrete structure was assessed by determining its permeability to chlorine ions using concrete disk samples with a diameter of 100±2 mm and a thickness of 50±3 mm. It has found that an increase in the proportion of white sand in the composition of fine aggregate leads to a decrease in the water absorption of concrete and the permeability of its structure for chloride ions. Therefore, with a 100% replacement of river sand with white sand, the values of water absorption and the total value of electric charges that passed through concrete samples during 6 hours of testing amounted to 0.37% by weight and 72.4 Class, respectively, while for concrete samples containing 100% river sand, these figures are respectively 0.44% by weight and 284.2 Class. At the same time, the highest values of compressive strength, as well as flexural and tensile splitting strength equal to 107.5, 12.2 and 8.07 MPa, respectively, were obtained by testing concrete samples containing 100% by weight of white quartz sand and 1.5% by weight of nanodispersed silica as part of a multicomponent binder. Thus, the possibility of replacing the scarce river sand in Vietnam with white quartz sand has been experimentally confirmed, which makes it possible to obtain concretes with a dense structure and high strength indicators.

Keywords: high-strength concrete, natural quartz sand, fine mineral additives, strength indicators, water absorption, density and permeability of the concrete structure.

For citation: Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I., Fedosov S.V., Nguyen Duc Vinh Quang, Lyapidevskaya O.B. Use of white quartz sand for high-strength concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 11, pp. 19–25. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-19-25>

По данным Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), на долю песка приходится около 85% ежегодной мировой добычи природных ресурсов, что эквивалентно более чем 40 млрд т. За два последних десятилетия строительный бум в странах Азии и Африки повысил спрос на песок в три раза, и, по существующим прогнозам, к 2060 г. годовая добыча песка и гравия в мировом масштабе увеличится до 82 млрд т. [1]. Песок является одним из основных видов сырья для строительной индустрии и незаменимым материалом в таких областях, как бурение нефтяных скважин, производство электронных чипов, изготовление стекла, косметики и многие другие отрасли производства. В последние годы потребность в песке растет с опережающими темпами, особенно в развивающихся странах, таких как Вьетнам [2].

Во Вьетнаме природный речной кварцевый песок, также известный как желтый песок, является дефицитным сырьевым материалом, который играет ключевую роль для изготовления бетона. В настоящее время в строительной промышленности Вьетнама в качестве мелкого заполнителя для производства бетонов используется только природный песок, добываемый из долин рек и русел ручьев.

Однако речной кварцевый песок является не только ценным строительным ресурсом, но и играет важную роль в тектонике и стабилизации берегов и русел рек, а также в создании среды обитания для водных видов флоры и фауны. Чрезмерная добыча речного песка неминуемо приведет к эрозии берегов рек, что окажет негативное влияние как на водные экосистемы, так и на жизнедеятельность людей. В результате ограниченные ресурсы речного песка во Вьетнаме могут быть исчерпаны в ближайшем будущем.

Интенсивная добыча песка привела к тому, что в некоторых местах Красной реки, а также других рек, протянувшихся с севера на юг Вьетнама, снизился уровень воды и уменьшился ее объем. Так, в Ханое чрезмерная добыча песка привела к тому, что дно Красной реки оказалось намного ниже, чем дно небольших речек, образующих ее дельту. В результате этого вода из Красной реки перестала поступать в эти небольшие речки, что, в частности, привело к гибели реки Нхуэ-Джанг, которая кормила почти два миллиона жителей на ее берегах.

Согласно отчету Министерства природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама, в настоящее время общий ресурс песка в стране составляет чуть более 2 млрд м³, но только в 2020 г. спрос на песок для строительства достиг 182–197 млн м³, а к 2030 г. эта потребность увеличится до 326–477 млн м³. Поэтому без правильного планирования и поиска других материалов для замены природного речного песка Вьетнам рискует исчерпать его запасы в ближайшие десять лет, после чего будет вынужден прибегнуть к его импорту [3]. Из вышесказанного следует, что природный речной песок постепенно становится во Вьетнаме дефицитным ресурсом и в настоящее время весьма актуальным является поиск альтернативных источников песка. Одним из удачных решений этой проблемы может стать использование в строительстве природного белого кварцевого песка, добываемого из карьеров.

Во Вьетнаме природный белый кварцевый песок имеет обильные запасы, его залежи простираются вдоль всей береговой линии Вьетнама протяженностью 3260 км, и их площадь составляет около 600 тыс. га с общими запасами до нескольких миллиардов кубических метров. Поэтому проведение исследований о возможности использования природ-

ного белого кварцевого песка в качестве мелкого заполнителя для замены речного песка в бетонах и строительных растворах имеет важное значение для строительной отрасли Вьетнама [4].

Используемые материалы и методы исследований

В работе были использованы следующие материалы. Минеральное вяжущее – сульфатостойкий портландцемент PCSRд40 производства завода «Luks Cement» (Вьетнам), соответствующий требованиям TCVN 6067:2004 и ГОСТ 22266–2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия». Основные характеристики цемента приведены в табл. 1.

Мелкий заполнитель – речной кварцевый песок (ПР) реки Хуонг и белый кварцевый песок (БП) (Вьетнам), соответствующие TCVN 10796:2015 и ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». Основные свойства использованных песков представлены в табл. 2.

Крупный заполнитель – гранитный щебень из карьера Га Лой (Вьетнам) в виде смеси двух фракций 5–10 мм и 10–20 мм в соотношении 40:60, соответствующий требованиям TCVN 7570:2006 и ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». Основные характеристики щебня приведены в табл. 3.

Химическая водоредуцирующая добавка – поликарбоксилатный суперпластификатор (СП) «Sika®Viscocrete®-151» по TCVN 8826:2011/2 и ГОСТ Р 56592–2015 «Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» в виде водного раствора с плотностью 1075–1095 кг/м³ и значением pH, равным 4–6.

Минеральные добавки: ультрадисперсный микрокремнезем (МК) производства фирмы «Sikacrete® PP1 – Sika Limited» (Вьетнам), соответствующий требованиям TCVN 8827:2013 и ГОСТ Р 56592–2015; золы-уноса (ЗУ) тепловой электростанции (ТЭС) «Фа Лай» (Вьетнам) по TCVN 10302:2014 и ГОСТ 25818–2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия»; кварцевый порошок в виде кварцевой муки (Км), полученный в результате тонкого помола белого песка; нанодисперсный кремнезем (нано-SiO₂) [5–7]. Свойства использованных минеральных добавок представлены в табл. 4.

Для проектирования составов бетонных смесей был использован метод, приведенный в стандарте Вьетнама TCVN 10306:2014. Первоначально указанным методом был определен состав бетонной смеси для получения высокопрочного бетона класса по прочности при сжатии B65, не содержащего тонкодисперсных минеральных добавок, который представлен в табл. 5. Далее с помощью этого метода были рассчитаны составы бетонных смесей, содержащих указанные добавки, составы которых приведены в табл. 6.

Прочностные показатели разработанных бетонов определяли по TCVN 10303:2014, TCVN 3119:1993 и ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения

Таблица 1
Table 1

Основные характеристики сульфатостойкого портландцемента PCSR40
Main characteristics of sulphate-resistant Portland cement

Характеристики	Результаты испытаний
Активность в возрасте 2 сут/28 сут, МПа	25,7/46,5
Тонкость помола: – остаток на сите № 009 после просеивания, мас. % – удельная поверхность, м ² /кг	0,7 363,3
Сроки схватывания, начало/конец, мин	170/213
Равномерность изменения объема, мм	1,36
Содержание щелочей (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), мас. %	0,55
Нерастворимый остаток, мас. %	0,89
Содержание трехкальциевого алюмината C ₃ A, мас. %	3,4
Сумма алюминатов и алюмоферритов кальция (C ₄ AF + 2C ₃ A), мас. %	18,48
Относительное расширение после 14 сут испытаний на сульфатостойкость, %	0,016

Таблица 2
Table 2

Основные свойства речного и белого природных кварцевых песков
Main properties of river and white natural quartz sands

Вид песка	Модуль крупности	Плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Содержание глины, мас. %	Растворимость в HCl, мас. %
Речной песок	3	2670	1560	0,5	0,52
Белый песок	2,5	2240	1450	0,2	0,48

Таблица 3
Table 3

Основные характеристики гранитного щебня
Main characteristics of crushed granite

Характеристики	Значения
Плотность, кг/м ³	2680
Насыпная плотность, кг/м ³	1390
Пустотность, %	46,9
Средняя прочность при сжатии, МПа	105,6
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,73

прочности по контрольным образцам» с помощью универсальной испытательной установки «Matest» модели C089-17N (Италия). Прочность бетонов при сжатии определяли на образцах-кубах размером 100×100×100 мм в возрасте 3, 7 и 28 сут нормального твердения, прочность на растяжение при изгибе – на образцах-призмах размером 100×100×400 мм и на растяжение при раскалывании – на образцах-цилиндрах размером 100×200 мм в возрасте 28 сут.

Водопоглощение бетонных образцов определяли в соответствии со стандартами TCVN 3113:1993 и ГОСТ 12730.3–2020 «Бетоны. Метод определения

**Таблица 4
Table 4**

**Свойства использованных тонкодисперсных минеральных добавок
Properties of used fine mineral additives**

Показатель	Ед. изм.	Тонко-молотый кварцевый порошок	Ультра-дисперсный микро-кремнезем	Зола-уноса	Нано-дисперсный кремнезем
Плотность	кг/м ³	2600	2150	2310	2330
Насыпная плотность	кг/м ³	1450	500–700	990	–
Удельная поверхность	м ² /кг	250	16300	1200	139000
Средний размер частиц	мкм	5–95	<0,1	3,05	0,01–0,05
Потери при прокаливании	мас. %	0,044	1,68	0,95	–

**Таблица 5
Table 5**

**Контрольный состав бетонной смеси
Control composition of the fresh concrete**

Сырьевые материалы	Количество
Цемент, кг/м ³	550
Вода, кг/м ³	156
Крупный заполнитель, кг/м ³	1088
Мелкий заполнитель, кг/м ³	654
Суперпластификатор, л/м ³	9,9
Вовлеченный воздух, %	2

**Таблица 6
Table 6**

**Составы бетонных смесей с тонкодисперсными минеральными добавками
Compositions of fresh concretes with fine mineral additives**

Состав	Вяжущие материалы, кг/м ³					Заполнители, кг/м ³					Вода	СП	(В+СП)/В _{вьяж}
	Цемент	МК	ЗУ	Нано-SiO ₂		Щебень	Мелкий заполнитель						
				кг	%		кг	кг	%	кг			
5aS0	357,5	27,5	165	–	–	1080	592,3	–	–	104,5	127,6	9,9	0,25
5aS1	352	27,5	165	1	5,5	1080	592,3	–	–	104,5	127,6	9,9	0,25
B40	357,5	27,5	165	–	–	1080	355,4	40	236,9	104,5	127,6	9,9	0,25
B60	357,5	27,5	165	–	–	1080	236,9	60	355,4	104,5	127,6	9,9	0,25
B80	357,5	27,5	165	–	–	1080	118,5	80	473,8	104,5	127,6	9,9	0,25
B100	357,5	27,5	165	–	–	1080	–	100	592,3	104,5	127,6	9,9	0,25
BS1,0	352	27,5	165	1	5,5	1080	–	100	592,3	104,5	127,6	9,9	0,25
BS1,5	349,25	27,5	165	1,5	8,25	1080	–	100	592,3	104,5	127,6	9,9	0,25

водопоглощения». Испытания проводились на образцах-кубах размером 100×100×100 мм после 28 сут твердения в нормальных условиях.

Образцы погружали в резервуар с пресной водой с температурой 22±2°С и выдерживали в течение 24 ч до их полного насыщения. После этого образцы извлекали из воды и помещали на 1 мин на проволочную сетку для удаления воды с их поверхности влажной тканью. Затем образцы помещали в вентилируемую печь при температуре 105±5°С не менее чем на 24 ч с учетом двух последовательных взвешиваний с интервалом в 2 ч для определения приращения потерь их массы с погрешностью не более 0,1% от последнего значения массы образца. За результат испытаний принимали среднее арифметическое значение водопоглощения, определенное на трех образцах из бетонной смеси одного состава.

Плотность структуры бетонов разработанных составов оценивали путем определения ее проницаемости для ионов хлора по стандарту TCVN 9337:2012 с использованием бетонных образцов-дисков диаметром 100±2 мм и толщиной 50±3 мм. После 28 сут твердения бетонные образцы были подвергнуты испытанию на сопротивляемость их структур проникновению хлорид-ионов путем создания напряжения постоянного тока 60 В между двумя контейнерами, заполненными соответственно 3%-м раствором NaCl

**Таблица 7
Table 7**

**Проницаемость структуры бетона для хлорид-ионов
Permeability of concrete structure for chloride ions**

Среднее значение общего электрического заряда, прошедшего через образцы бетона за 6 ч испытаний, К	Уровень проницаемости структуры бетона для хлорид-ионов
>4000	Высокий
2000–4000	Умеренный
1000–2000	Низкий
100–1000	Очень низкий
<100	Непроницаемый

и 0,3N раствором NaOH. Сила электрического тока измерялась каждые 30 мин в течение 6 ч. Общий электрический заряд в кулонах, прошедший через образец бетона за время проведения испытаний, рассчитанный по формуле (1), использовался в качестве индикатора сопротивления структуры бетона проникновению хлорид-ионов:

$$Q = \left(\frac{95}{x}\right)^2 \cdot 900 \cdot (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}), \quad (1)$$

где Q – общий электрический заряд, прошедший через бетонный образец в течение 6 ч, К; $I_0, I_{30}, I_{60} \dots I_{330}, I_{360}$ – сила тока, А, при продолжительности испытаний 0, 30, 60 ... 330, 360 мин; x – фактический диаметр испытуемого образца, мм.

Таблица 8
Table 8

Прочностные показатели разработанных бетонов
Strength indicators of developed concrete

Состав	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте твердения				Прочность на растяжение при раскалывании, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа
	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут		
5aS0	68,2	73,3	84,5	89,1	7,22	9,71
B40	74,5	81,7	87,3	90	7,18	9,45
B60	78,2	86,4	91,5	95,5	7,26	9,78
B80	76	84,5	90,2	92	7,15	9,6
B100	75,5	83,3	89,1	91,2	7,1	9,4
BS1,0	83,8	91,5	99,5	106	7,84	11,75
BS1,5	84,5	92,0	100,5	107,5	8,07	12,2

Таблица 9
Table 9

Влияние доли белого песка в составе мелкого заполнителя и нанодисперсного кремнезема на водопоглощение бетонов
Influence of the proportion of white sand in the composition of fine aggregate and nanodispersed silica on water absorption of concrete

Состав	Образец № 1			Образец № 2			Образец № 3			Водопоглощение, мас. %
	m_1 , г	m_2 , г	W_1 , мас. %	m_1 , г	m_2 , г	W_2 , мас. %	m_1 , г	m_2 , г	W_3 , мас. %	
5aS0	2469	2481	0,49	2512	2522	0,39	2487	2497	0,44	0,44
5aS1	2465	2477	0,49	2490	2501	0,44	2485	2495	0,4	0,44
B40	2514	2524	0,4	2505	2515	0,4	2499	2510	0,44	0,41
B60	2504	2515	0,44	2494	2504	0,4	2492	2501	0,36	0,4
B80	2491	2500	0,36	2499	2509	0,4	2492	2502	0,4	0,39
B100	2502	2510	0,32	2490	2500	0,4	2498	2508	0,4	0,37
BS1,0	2513	2519	0,24	2523	2527	0,16	2503	2508	0,2	0,2
BS1,5	2496	2500	0,16	2492	2496	0,16	2506	2510	0,16	0,16

Таблица 10
Table 10

Средняя величина силы тока и общий электрический заряд, прошедший через бетонные образцы в течение шестичасовых испытаний
Average current strength and total electrical charge passed through concrete samples during the six-hour test

Состав	τ, мин	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	Q, Кл	Уровень проницаемости структуры бетона для хлорид-ионов
	t, °C	28	28	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28		
5aS0	I, mA	0	12,9	13,4	13,9	14,2	14,2	13,9	13,9	14,2	13,9	13,1	13,3	13,1	284,2	Очень низкий
5aS1	I, mA	0	3,05	3,25	3,35	3,4	3,35	3,5	3,5	3,5	3,55	3,6	3,6	3,5	71,1	Непроницаемый
B100	I, mA	0	3,1	3,3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	72,4	Непроницаемый
BS1,0	I, mA	0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,5	3,4	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	70,4	Непроницаемый
BS1,5	I, mA	0	3,0	3,0	3,0	3,2	3,2	3,2	3,4	3,2	3,3	3,3	3,3	3,1	66,2	Непроницаемый

Было обнаружено, что прошедший электрический заряд Q имеет тесную связь с сопротивлением структуры бетона проникновению ионов хлора, и поэтому стандартом Вьетнама TCVN 9337:2012 рекомендуется качественный критерий оценки плотности структуры бетонов – «уровень проницаемости структуры бетона для хлорид-ионов» в соответствии с диапазоном значений прошедшего электрического заряда, как показано в табл. 7.

Результаты исследований

Были проведены испытания с целью определения прочностных показателей, водопоглощения и про-

ницаемости структуры для хлорид-ионов восьми разработанных бетонов, полученных из бетонных смесей, составы которых приведены в табл. 6. Все указанные бетонные смеси содержали тонкодисперсные минеральные добавки для частичной замены сульфатостойкого портландцемента в составе многокомпонентного вяжущего [8–11].

Результаты испытаний при сжатии, растяжении при изгибе и раскалывании разработанных бетонов представлены в табл. 8.

Полученные экспериментальные результаты показали, что при использовании белого кварцевого песка в качестве мелкого заполнителя вместо речно-

го с увеличением его количества в бетонной смеси наблюдается существенный рост прочности бетонов при сжатии в раннем возрасте, а именно на третьи и на седьмые сутки, который постепенно замедляется в более позднем возрасте.

Результаты испытаний по определению водопоглощения разработанных бетонов представлены в табл. 9.

В результате проведенных испытаний было установлено, что водопоглощение бетонов разработанных составов снижается с увеличением доли белого песка в составе мелкого заполнителя. Это можно объяснить тем, что модуль крупности белого песка ($M_k=2,5$) меньше, чем у речного песка ($M_k=3$), что приводит к уменьшению пористости бетонов [12, 13].

Результаты испытаний разработанных бетонов на проницаемость для ионов хлора, позволяющие определить уровень проницаемости и оценить плотность их структур, представлены в табл. 10.

Из приведенных в табл. 10 экспериментальных результатов следует, что добавление нано-SiO₂ в количестве 1% от массы многокомпонентного вяжущего в бетонную смесь снижает проницаемость бетонов для хлорид-ионов (составы № BS1,0 и 5aS1). Установлено, что использование нанодисперсного кремнезема для частичной замены цемента в бетонных смесях, содержащих 100% белого кварцевого песка (составы № BS1,0 и BS1,5), приводит к значительному уменьшению проницаемости структур разработанных бетонов для хлорид-ионов по сравнению с контрольным составом № 5aS0 на речном песке, не содержащим нано-SiO₂: общий электрический заряд, прошедший через бетонные образцы указанных составов за шестичасовые испытания, составил соответственно 70,4 и 66,2 Кл против 284,2 Кл у образцов бетона контрольного состава. В то же время образцы бетона из смеси состава № B100, содержащей в качестве мелкого заполнителя также только белый песок и не содержащей нанодисперсный кремнезем, показали величину прошедшего через них общего электрического заряда, равную 72,4 Кл, что почти в четыре раза меньше, чем у образцов контрольного состава и всего лишь на 2–9% выше, чем у бетонных образцов с нано-SiO₂. Причиной этому может являться больший процент содержания глинистых частиц в речном песке по сравнению с белым песком, что приводит к образованию воздушных пор в бетоне, способствующих проникновению в него хлорид-ионов [14, 15].

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что замена в качестве мелкого заполнителя в составе бетонных смесей речного песка белым кварцевым песком способствует уплотнению структуры бетонов и снижению уровня ее проницаемости для хлорид-ионов. При этом установлено, что введение в бетонные смеси нанодисперсного кремнезема в количествах 1–1,5% от массы многокомпонентного вяжущего лишь незначительно повышает плотность структуры исследованных бетонов.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что использование в составе мелкого заполнителя белого кварцевого песка взамен речного песка позволяет получать бетоны, обладающие высокой прочностью, а также приводит к уплотнению структуры разработанных бетонов, что снижает их водопоглощение и будет способствовать повышению коррозионной стойкости и долговечности в жарких и влажных климатических условиях Вьетнама.

При этом бетон с наибольшими показателями прочности при сжатии 107,5 МПа, на растяжение при изгибе 12,2 МПа и на растяжение при раскалывании 8,07 МПа был получен при 100%-й замене речного песка белым кварцевым песком в составе мелкого заполнителя бетонной смеси и включении в состав многокомпонентного вяжущего 1,5 мас. % нанодисперсного кремнезема.

Кроме того, замена речного песка белым кварцевым будет способствовать снижению нагрузки на его истощаемые во Вьетнаме природные ресурсы и в целом окажет положительное влияние на улучшение экологической ситуации в стране.

Список литературы / References

1. Leal Filho, W. Hunt, J. Lingos, A. Platje, J. Vieira, et al. The unsustainable use of sand: reporting on a global problem. *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (6). 3356. doi:10.3390/su13063356
2. Chính phủ Việt Nam. Nghị định số 23/2020/NĐ-CP của Chính phủ: Quy định về quản lý cát, sỏi lòng sông và bảo vệ lòng, bờ, bãi sông. 24/02/2020. 20 tr.
3. Pilarczyk K.W. Bank erosion Mekong Delta and Red River. Vietnam. 2016. 157 p.
4. Bộ Tài nguyên và Môi trường Việt Nam. *Nguồn cát tự nhiên sẽ cạn kiệt trong vòng 10 năm tới. Quản Lý Tài Nguyên Thiên Nhiên*, 2017, 168 tr.
5. Нгуен Дык Винь Куанг, Баженов Ю.М., Александрова О.В. Влияние кварцевого порошка и минеральных добавок на свойства высокоэффективных бетонов // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 1. С. 999–1006. DOI 10.22227/1997-0935.2019.1.102-117
5. Nguyen Duc Vinh Quang, Bazhenov Y.M., Aleksandrova O.V. Effect of quartz powder and mineral admixtures on the properties of high-performance concrete. *Vestnik MGSU*. 2019. Vol. 14 (1), pp. 102–117. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.102-117. (In Russian)
6. Nguyen Duc Vinh Quang, Aleksandrova O., Bulgakov B. Mechanical and durability properties of high-performance concrete in corrosive medium of Vietnam. *Proceedings of FORM 2021. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. Vol. 170, pp. 29–43. doi:10.1007/978-3-030-79983-0_4
7. Баженов Ю.М., Александрова О.В., Нгуен Дык Винь Куанг, Булгаков Б.И., Ларсен О.А., Гальцева Н.А., Голотенко Д.С. Высокопрочный бетон из материалов Вьетнама // *Строительные*

- материалы. 2020. № 3. С. 32–38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-32-38>
7. Bazhenov Yu. M., Aleksandrova O.V., Nguyen Duc Vinh Quang, Bulgakov B.I., Larsen O.A., Gal'tseva N.A., Golotenko D.S. High-performance concrete produced with locally available materials in Vietnam. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 32–38. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-32-3>
 8. Nguyen Duc Vinh Quang, Le D.V., Alexandrov O.V., Bulgakov B.I. Synthesis and characterization of silica nanoparticles from Vietnam. *Nanomaterials and Energy*. 2019. Vol. 8 (1), pp. 73–77. doi: 10.1680/jnaen.18.00012
 9. Nguyen Duc Vinh Quang, Aleksandrova O.V., Samchenko C.V. Combined effect of mineral admixtures and fine aggregate on the mechanical properties of ultrahigh performance concrete. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869. 032034. Doi:10.1088/1757-899X/869/3/032034
 10. Нгуен Дык Винь Куанг, Александрова О.В., Булгаков Б.И., Коровяков В.Ф., Каддо М.Б. Влияние золы-уноса в многокомпонентном вяжущем на прочность бетонов // *Техника и технология силикатов*. 2021. № 28 (3). С. 110–116.
 10. Nguyen Duc Vinh Quang, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., Korovyakov V.F., Caddo M.B. Effect of fly ash in a multicomponent binder on the strength of concrete. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2021. Vol. 28. No. 3, pp. 110–116 (In Russian).
 11. Li C., Chen Q., Wang R., Wu M., Jiang Z. Corrosion assessment of reinforced concrete structures exposed to chloride environments in underground tunnels: Theoretical insights and practical data interpretations. *Cement and Concrete Composites*. 2020. Vol. 112. 103652. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103652
 12. Dang An Tran, Maki Tsujimura, Le Phu Vo, Van Tam Nguyen, Dwight Kambuku & Thanh Duc Dang. Hydrogeochemical characteristics of a multi-layered coastal aquifer system in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Geochemistry and Health*. 2019. Vol. 42 (2), pp. 661–680. Doi: 10.1007/s10653-019-00400-9
 13. Trần Đ.Н., Nguyễn Q.Н. Đánh giá chất lượng nước vùng cửa sông và biển ven bờ để định hướng giải pháp công nghệ xử lý phù hợp cho mục đích cấp nước sinh hoạt. *khóa học công nghệ Xây dựng*. 2019. Vol. 10, pp. 89–98.
 14. Liu J., Huang Z., Zhu J., Liu W., Zhang W. Effect of fly ash as cement replacement on chloride diffusion, chloride binding capacity, and micro-properties of concrete in a water soaking environment. *Applied sciences*. 2020. Vol. 10. 6271. Doi:10.3390/app10186271
 15. M.M.A. Elahi, C.R. Shearer, R. R Naser, et al. Improving the sulfate attack resistance of concrete by using supplementary cementitious materials (SCMs): A review. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 281. 122628. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122628>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



Книга «Технология гипсовых отделочных материалов и изделий»

Автор – Федулов А.А.

В книге описано производство гипсовых отделочных материалов и изделий от добычи сырья до упаковки готовой продукции. Особое внимание автор уделяет подробному описанию технологических линий и отдельных единиц оборудования, установленных на передовых предприятиях гипсовой промышленности. В книге представлено большое количество иллюстраций всех технологических переделов, которые помогут глубже представить и понять технологические процессы производства того или иного изделия. Описание технологии каждого вида гипсовых изделий основывается на существующих производственных регламентах предприятий России, Германии и Дании, включая шахты, карьеры, которые автор посещал лично.

Книга предназначена студентам, изучающим производство строительных материалов и конструкций в качестве дополнительного материала по технологии современных гипсовых изделий, а также для инженеров-технологов заводов, производящих гипсовую продукцию в качестве справочного материала.



Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку по e-mail: mail@rifsm.ru, по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36; или оформить заказ на сайте www.rifsm.ru