

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 666.972.12(123)

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.149-165

Исследование водопотребности доломитовых заполнителей для бетонов в условиях сухого жаркого климата

Светлана Васильевна Самченко, Оксана Александровна Ларсен,
Дия Абдулкадим Насер Альобаиди

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены основные свойства карбонатных заполнителей, которые имеют широкое применение при изготовлении бетонных смесей, работающих в условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности. Бетоны с карбонатными заполнителями обладают повышенной водопотребностью, что связано с их высоким водопоглощением, пористой поверхностью и различной удельной поверхностью. Приведена методика определения водопотребности заполнителя ультразвуковым и ускоренным методом, который проводится на равноподвижных смесях. Полученные данные являются важными показателями и в дальнейшем будут учитываться при расчете состава бетона.

Материалы и методы. Применялся портландцемент ЦЕМ I 52,5Н «ХайдебергЦемент» в соответствии с ГОСТ 31108–2020; доломитовый щебень фракции 5–10 мм; стандартный монофракционный песок в соответствии с ГОСТ 6139–2020. Химический анализ портландцемента и доломитового заполнителя изучался на рентгеновском анализаторе Bruker S4 Pioneer и Bruker S8 Tiger. Минералогический состав портландцемента устанавливался на лазерном дифрактометре Bruker D2. Определение водопотребности крупного заполнителя из доломита проводилось ультразвуковым методом, разработанным в НИУ МГСУ. Также выявление водопотребности мелкого заполнителя производилось по ускоренной методике на равноподвижных смесях по диаметру расплыва цементного теста, равному 170 мм. Установление средней плотности в куске в цементном тесте карбонатного щебня фракции 5–10 мм проводилось в соответствии с ГОСТ 9758–2012.

Результаты. Карбонатные заполнители отличаются повышенной водопотребностью по сравнению с другими заполнителями. Водопотребность доломитового заполнителя составляет 5,4 %, а водопоглощение и содержание пылевидных и глинистых частиц находится в пределах 2,6 и 2,95 % соответственно. Средняя плотность зерен доломитового щебня в куске, определяемая в цементном тесте, составила 2,5 г/см³.

Выводы. В условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности применение доломитовых заполнителей является особенно актуальным. Однако бетонные смеси с карбонатными заполнителями обладают повышенной водопотребностью, что связано с высоким водопоглощением, пористой поверхностью и различной удельной поверхностью заполнителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: доломитовый заполнитель, водопотребность, бетон, портландцемент, отсев дробления доломита, ультразвук, цементное тесто, период формирования структуры

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самченко С.В., Ларсен О.А., Альобаиди Д.А.Н. Исследование водопотребности доломитовых заполнителей для бетонов в условиях сухого жаркого климата // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 149–165. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.149-165

Автор, ответственный за переписку: Оксана Александровна Ларсен, larsen.oksana@mail.ru.

Study of water consumption of dolomite aggregates for concrete under conditions of dry hot climate

Svetlana V. Samchenko, Oksana A. Larsen, Dheyaa Abdulkadim Naser Alobaidi
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The basic properties of carbonate aggregates, which are widely used in the manufacture of concrete mixtures working in conditions of elevated temperatures and reduced relative humidity, are considered. Concretes with carbonate

aggregates have increased water demand, which is associated with their high water absorption, porous surface and different specific surface area. The methodology for determining the water demand of aggregate by ultrasonic and accelerated methods, which are performed on the same workability mixtures, is given. The obtained results are important indicators and in the future will be taken into account in the calculation of concrete mixture.

Materials and methods. Portland cement CEM I 52.5H "HeidelbergCement" in accordance with GOST 31108–2020; dolomite crushed gravel (5–10 mm); and standard monofractional sand in accordance with GOST 6139–2020 were used in the study. The chemical analysis of Portland cement and dolomite aggregate was investigated on the Bruker S4 Pioneer and Bruker S8 Tiger X-ray analyzers. The mineralogical composition of Portland cement was determined on a Bruker D2 laser diffractometer. The water demand of dolomite coarse aggregate was determined by an ultrasonic method developed at the National Research University of Moscow State University of Civil Engineering. Also, the determination of water demand of fine aggregate was carried out by the accelerated method on the same workability mixtures with a diameter of cement paste mixing equal to 170 mm. Determining the average density in a lump in the cement paste of carbonate crushed stone (5–10 mm) was determined in accordance with GOST 9758–2012.

Results. Carbonate aggregates are characterized by increased water absorption compared to other aggregates. It was found that the water demand of dolomite aggregate is 5.4 %, and the water absorption and content of dust and clay particles are within 2.6 and 2.95 %, respectively. It was found that the average density of dolomite crushed gravel grains determined in the cement paste was 2.5 g/cm³.

Conclusions. In conditions of high temperatures and low relative humidity, the use of dolomite aggregates is especially relevant. However, concrete mixtures with carbonate aggregates have increased water demand due to high water absorption, porous surfaces, and different specific surface areas of the aggregates.

KEYWORDS: dolomite aggregate, water demand, concrete, Portland cement, dolomite crushing screenings, ultrasonic, cement paste, the period of structure formation

FOR CITATION: Samchenko S.V., Larsen O.A., Alobaidi D.A.N. Study of water consumption of dolomite aggregates for concrete under conditions of dry hot climate. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):149-165. URL: <http://nsj-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.149-165

Corresponding author: Oksana A. Larsen, larsen.oksana@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень использования карбонатных сырьевых материалов и их отходов в виде отсевов, пыли аспирационных систем и так далее является важнейшим фактором, обеспечивающим снижение энергетических затрат и возможность выпуска новой качественной продукции.

Традиционно карбонатные материалы нашли применение в промышленности сборного железобетона, в дорожном строительстве, при производстве цемента и извести. Также карбонатные материалы используются в металлургическом производстве, сельском хозяйстве и других областях.

Карбонатные заполнители широко применяются при проектировании составов бетонов, работающих в условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности [1]. Карбонатный щебень получают путем дробления на карьерах нерудных ископаемых, при этом образуется значительное количество фракции крупностью до 5 мм, содержащей от 12 до 40 % зерен размером менее 0,16 мм [2]. Отходы производства карбонатных заполнителей могут путем дополнительных операций измельчения использоваться для производства дробленого песка и наполнителя для бетонов.

Анализ литературных данных показал, что бетонные смеси на карбонатных заполнителях обладают повышенной водопотребностью [3]. Это можно объяснить, в первую очередь, пористой структурой карбонатной породы. Отмечается, что бетонные смеси на карбонатном песке имеют хорошую водо-

удерживающую способность, при этом отсутствуют расслоение смеси и водоотделение¹.

Заполнитель влияет на структуру цементного камня, свойства бетонной смеси и бетона. В зависимости от его содержания и удельной поверхности уменьшается подвижность бетонной смеси и сокращаются сроки схватывания. Это объясняется тем, что заполнитель отвлекает часть воды затворения, поэтому свойства бетонной смеси определяются несколько меньшим водоцементным отношением по сравнению с водоцементным отношением затворения [4]. Введение дополнительного количества воды для достижения одинаковых свойств характеризует водопотребность заполнителя [5, 6]. Прочность заполнителя, определяющая прочность бетона, характеризуется не только видом горной породы, из которой он получен, но и крупностью зерен. Чем меньше зерна, тем меньше они содержат дефектов и прочность их выше [7, 8].

Доломит получил широкое применение в строительной индустрии и дорожном строительстве. Имеет место применение доломита для производства асфальтобетонной смеси для дорожного покрытия [9].

Крупный заполнитель из доломита может использоваться для производства бетона [6, 10–12].

На основе отсевов дробления получен песчаный кирпич с заменой мелкого заполнителя доломитовым в количестве 25, 50, 75 и 100 % от массы заполнителя [13]. Песок из отсева дробления доломита применялся для получения автоклавного газоз-

¹ Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. М. : Стройиздат, 1977. 81 с.

бетона, имеющего повышенные эксплуатационные показатели [14].

Было установлено, что подвижность бетона снижается при введении отсева дробления при частичной замене вяжущего материала как наполнителя². Введение заполнителя из отсева дробления доломита в количестве от 10 до 100 % снижает подвижность бетона [15].

Наблюдается влияние мелкого заполнителя из доломита на подвижность бетона. При введении в состав бетона песка из доломита в количестве от 25 до 100 % подвижность бетонной смеси контрольного состава снизилась со 105 до 70 мм [16].

Отмечается влияние заполнителей на прочностные свойства бетонов, эксплуатируемых в условиях повышенных температур и низкой относительной влажности. При введении в состав бетона мелкого карбонатного заполнителя, несмотря на его большую водопотребность по сравнению с кварцевым песком, обеспечивается большая прочность бетонам. Повышенная прочность связана с большей водопотребностью и повышенным водопоглощением, снижением фактического водоцементного отношения при твердении и возвратом ранее поглощенной воды цементному камню, что повышает степень гидратации цемента.

Оказывается положительное влияние заполнителей из отсева дробления на деформативные свойства самоуплотняющихся бетонов³. Деформации усадки при высыхании составов, содержащих мелкий заполнитель из доломита в количестве от 7 до 28 %, были меньше, по сравнению с контрольными составами. Оптимальное содержание мелкого заполнителя из доломита — 7–14 % от массы всех заполнителей самоуплотняющейся бетонной смеси, что препятствует расслоению смеси, повышению подвижности и улучшению механических свойств бетона. Однако дальнейшее увеличение содержания в составе бетона способствовало увеличению усадочных деформаций.

Водопотребность гранитного щебня по массе фракции 5–20 мм составляет 3,25–3,4 %, гравия речного с предельной крупностью щебня 5–20 мм — 2,6–2,98 %, щебня известнякового — 5,15–5,5 %, песка кварцевого строительного — 7,1–8 %, песка речного — 7,15–8,1 %, керамзита фракции 0,14–20 мм — 20–24,5 %, керамзитового песка — 23,8–26,2 % [17].

Доломит получил широкое применение в строительной индустрии и дорожном строительстве, крупные и мелкие заполнители из доломита — при

производстве карбонатных бетонов для дорожного строительства, что связано с их высокой активной структурообразующей ролью [6]. Это влияние проявляется в упрочнении контактной зоны между цементным камнем и карбонатным заполнителем, которое происходит за счет высокого адгезионного сцепления между ними вследствие высокой пористости заполнителя и физико-химической активности известняков и доломитов.

Растворы на доломитовом и известняковом заполнителях сохраняют свою прочность при высоких температурах до 700 °С по сравнению с обычным гранитным [18].

Крупный заполнитель на основе доломита применяется для производства бетона с повышенной проницаемостью для покрытий дорог [10], а также для производства асфальтобетонных смесей [9]. Использование доломита имеет место при производстве стеновых камней в качестве замены кварцевого песка при его введении в количестве 0, 25, 50, 75 и 100 % от массы мелкого заполнителя [19], а также при производстве автоклавного газобетона, который показал высокие эксплуатационные показатели по сравнению с обычным автоклавным газобетоном [14].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что определение таких показателей, как водопотребность, водопоглощение заполнителя на основе доломита является необходимым и важным в связи с его особенной структурой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном исследовании применялись следующие материалы:

- портландцемент ЦЕМ I 52,5Н «Хайдельберг-Цемент Рус», в соответствии с ГОСТ 31108–2020, с удельной поверхностью 377,3 м²/кг, минералогическим и химическим составами, представленными в табл. 1, 2. Основные свойства портландцемента: сроки схватывания — начало и конец схватывания 195 и 235 мин соответственно, водопотребность — 30,2 %; прочность на сжатие в возрасте 2 и 28 сут — 29,9 и 62,6 МПа соответственно;

- доломитовый щебень фракции 5–10 с гранулометрическим составом, приведенным на рис. 1. Химический состав заполнителя представлен в табл. 3, фазовый состав — на рис. 2;

- стандартный монофракционный песок в соответствии с ГОСТ 6139–2020 «Песок для испытаний цемента. Технические условия».

Химический анализ портландцемента и доломитового заполнителя изучался на рентгеновском анализаторе Bruker S4 Pioneer и Bruker S8 Tiger. Минералогический состав портландцемента определялся на лазерном дифрактометре Bruker D2.

² Barbhuiya S. Effects of fly ash and dolomite powder on the properties of self-compacting concrete // Construction and Building Materials. 2011. No. 25 (8). Pp. 3301–3305.

³ Rudžionis Ž., Ivanauskas E., Senkus M. The Analysis of secondary raw materials usage in self-compacting concrete production. Mater. Sci. 11. 2005. Pp. 272–277.

Табл. 1. Минералогический состав портландцемента ЦЕМ I 52,5Н «ХайдельбергЦемент Рус»

Минералогический состав, %			
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
64	14	7	11

Табл. 2. Химический состав портландцемента ЦЕМ I 52,5Н «ХайдельбергЦемент Рус»

Химический состав, %											
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	п.п.п.
21,23	4,78	3,31	62,95	1,65	3,22	0,66	0,12	0,08	0,28	0,06	1,60

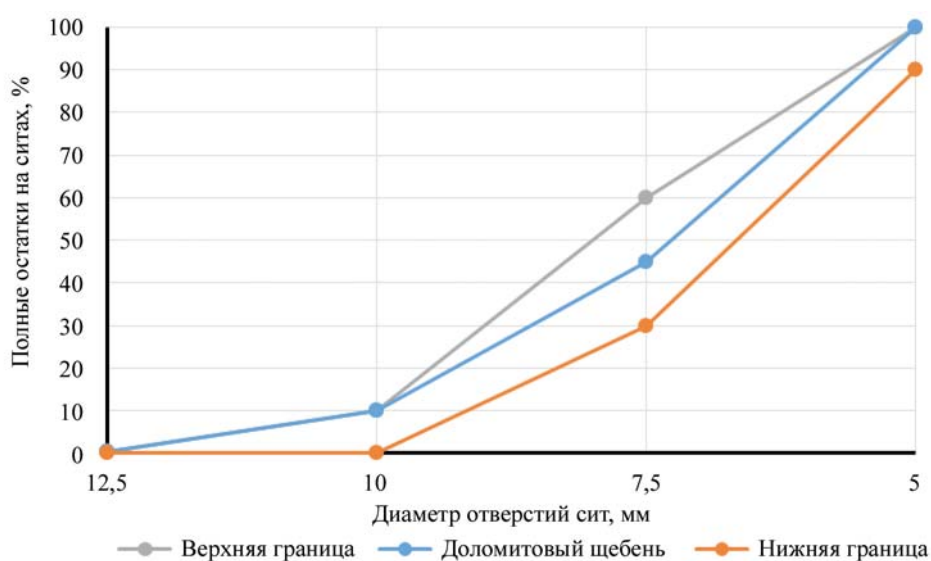


Рис. 1. Гранулометрический состав доломитового щебня фракции 5–10 мм

Табл. 3. Химический состав доломитового заполнителя

Химический состав, %											
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	п.п.п.
2,12	0,69	0,32	35,56	17,38	0,15	0,19	0,08	0,01	0,03	0	45,16

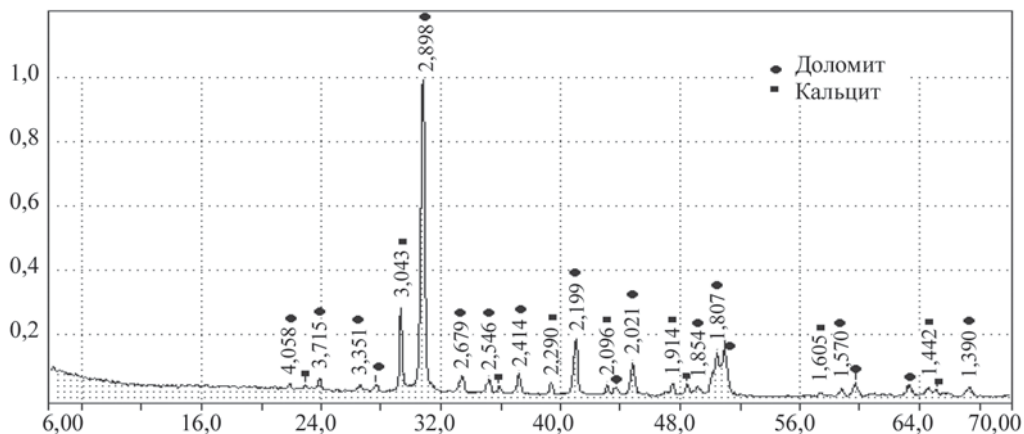


Рис. 2. Рентгенодифрактограмма отсева дробления доломита

Определение водопотребности крупного заполнителя из доломита производилось ультразвуковым методом [20].

Установление водопотребности мелкого заполнителя осуществлялось по ускоренной методике на равноподвижных смесях.

Средняя плотность в куске в цементном тесте карбонатного щебня фракции 5–10 мм выявлялась в соответствии с ГОСТ 9758–2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний». Была отобрана навеска карбонатного щебня фракции 5–10 мм объемом 3,5 л. Далее выполнялось перемешивание 1,7 кг цемента и 3,4 кг стандартного монофракционного песка в противне. В полученную смесь вводилось необходимое количество воды для достижения консистенции смеси с жесткостью 5–10 с (рис. 3), которая оценивалась на приборе Вебе. Полученная смесь выдерживалась в течение 15 мин, затем ею заполнялся сосуд емкостью 5 л, в котором смесь далее уплотняли на виброплощадке в течение 30–60 с и взвешивали.

Средняя плотность зерен доломитового щебня в куске составила 2,5 г/см³, определенная по ГОСТ 9758–2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний». Такие важные показатели заполнителя, как пустотность и пористость доломитового заполнителя устанавливались исходя из данных средней плотности в куске и насыпной плотности. Объем межзерновых пустот доломитового заполнителя составил 41,9 %, его рассчитывали в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

Водопотребность определялась по ускоренной методике, предложенной Ю.М. Баженовым, на равноподвижных смесях. Эта методика включает использование встряхивающего конуса Хагермана, при ней устанавливается диаметр расплыва цементного теста при (В/Ц)_ц, соответствующий его

нормальной густоте и равный 170 мм. Далее изготавливается раствор состава 1:2 и подбирается количество воды (В/Ц)_р, необходимое для получения диаметра расплыва 170 мм. Водопотребность укрупненного песка, состоящего из 50 % кварцевого песка и 50 % песка из отсева дробления доломитового щебня, составила 5,3 % и рассчитывалась по формуле:

$$K_{\text{ц}} = \frac{(В/Ц)_{\text{р}} - (В/Ц)_{\text{ц}}}{2} 100 \%. \quad (1)$$

Также определялось водопоглощение доломитового щебня и содержание пылевидных и глинистых частиц в заполнителе, которое составило 2,6 и 2,95 % соответственно (рис. 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение водопотребности заполнителя ультразвуковым методом заключается в следующем. Устанавливается водопотребность заполнителя непосредственно в самой бетонной смеси, при этом происходит сравнение периода формирования структуры (ПФС) бетона с ПФС цементного камня, приготовленного на том же цементе. Для этого изготавливается цементное тесто с различным водоцементным отношением, находящимся в пределах 0,876–1,65K_ц, при котором происходит образование связной коагуляционной структуры цементного теста. Приготовленное тесто заливают в пластмассовую форму с размером ячейки 10 × 10 × 10 см (рис. 5). Далее определяется скорость прохождения ультразвука через цементное тесто через каждые 5 мин.

Окончание формирования структуры характеризуется резким увеличением скорости прохождения ультразвука (рис. 6). Определив продолжительность твердения цементного теста в зависимости от различного В/Ц, строят график (рис. 7). Таким образом, получают эталонную кривую зависимости В/Ц от времени твердения для данного цемента.



Рис. 3. Прибор Вебе для определения жесткости бетонной смеси



Рис. 4. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц в доломитовом заполнителе

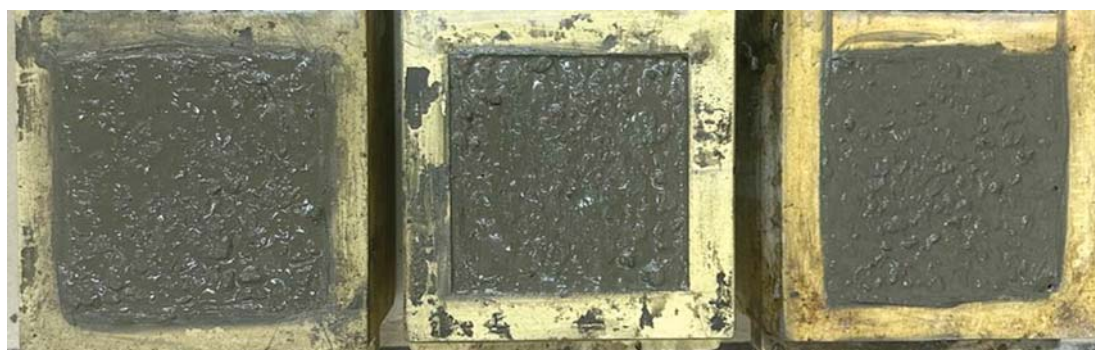


Рис. 5. Формы с размером ячейки $10 \times 10 \times 10$ см для определения ПФС цементного теста

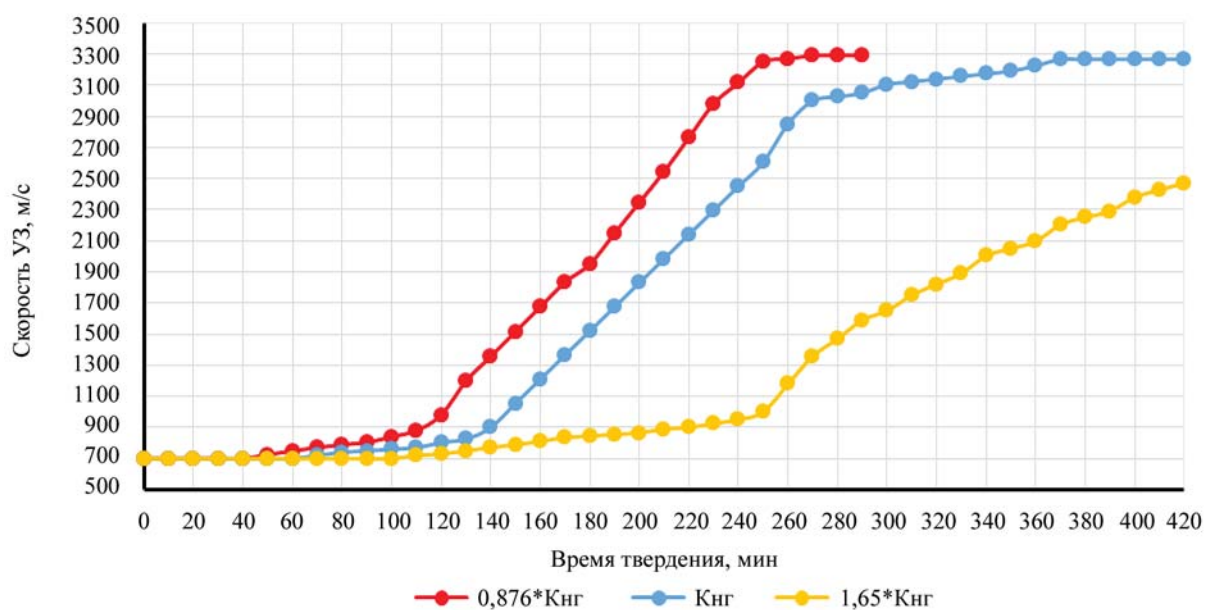


Рис. 6. Изменение скорости прохождения ультразвука в зависимости от времени твердения цементного теста

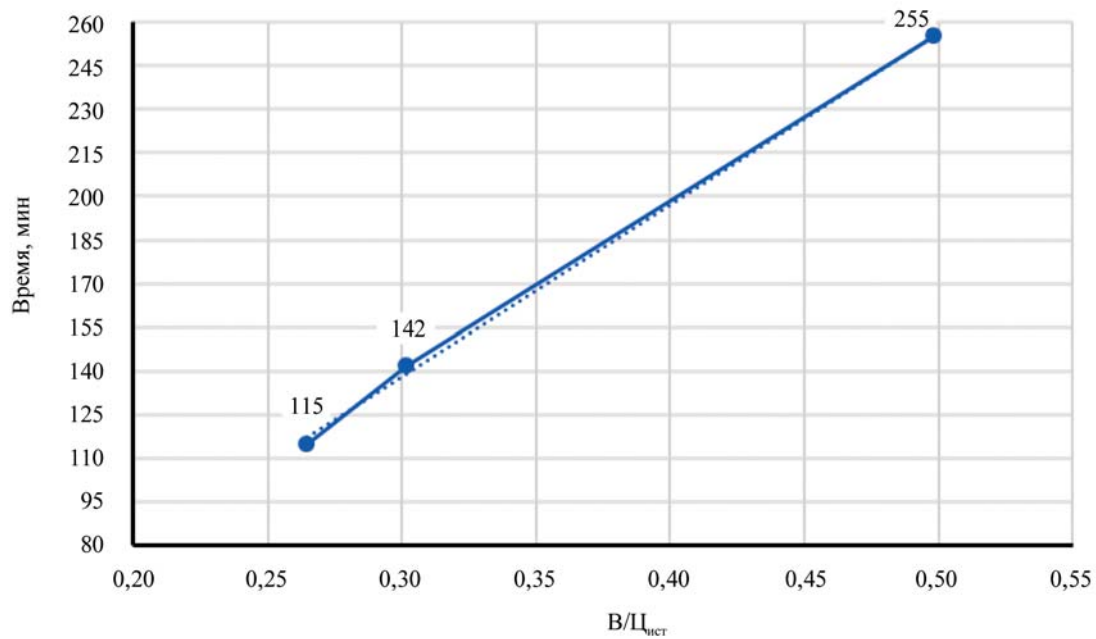


Рис. 7. Изменение продолжительности твердения цементного теста в зависимости от В/Ц

Методика определения водопотребности заполнителя отличается от существующих и проводится для бетонной смеси, которая состоит из 650 кг портландцемента и массы заполнителя, рассчитанной по формуле:

$$M_{\text{зап}} = 0,5\rho_0^{\text{к}}, \quad (2)$$

где $\rho_0^{\text{к}}$ — средняя плотность заполнителя в куске, т/м³.

Готовят бетонную смесь, вводя необходимое количество воды для достижения подвижности, при которой достигается осадка конуса 1–2 см (рис. 8). Определение скорости распространения ультразвука (УЗ) производится с использованием пластмассовых форм, в которые помещается приготовленная бетонная смесь. Измерение скорости прохождения

УЗ выполняется через каждые 20 мин. На рис. 9 представлены данные об изменении скорости УЗ от времени твердения смеси с начала ее затворения.

Далее устанавливают время ПФС бетонной смеси с испытуемым заполнителем по рис. 9. Затем определяется количество воды, отвлечаемой заполнителем ($V_{\text{зап}}$), которое рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{зап}} = V_{\text{затв}} - V_{\text{ц}}; \quad (3)$$

$$V_{\text{ц}} = \Pi \cdot \frac{V}{\Pi_{\text{ист}}}.$$

В табл. 4 приведены данные, полученные при определении водопотребности заполнителя в бетонной смеси.



Рис. 8. Приготовление эталонной бетонной смеси с доломитовым заполнителем

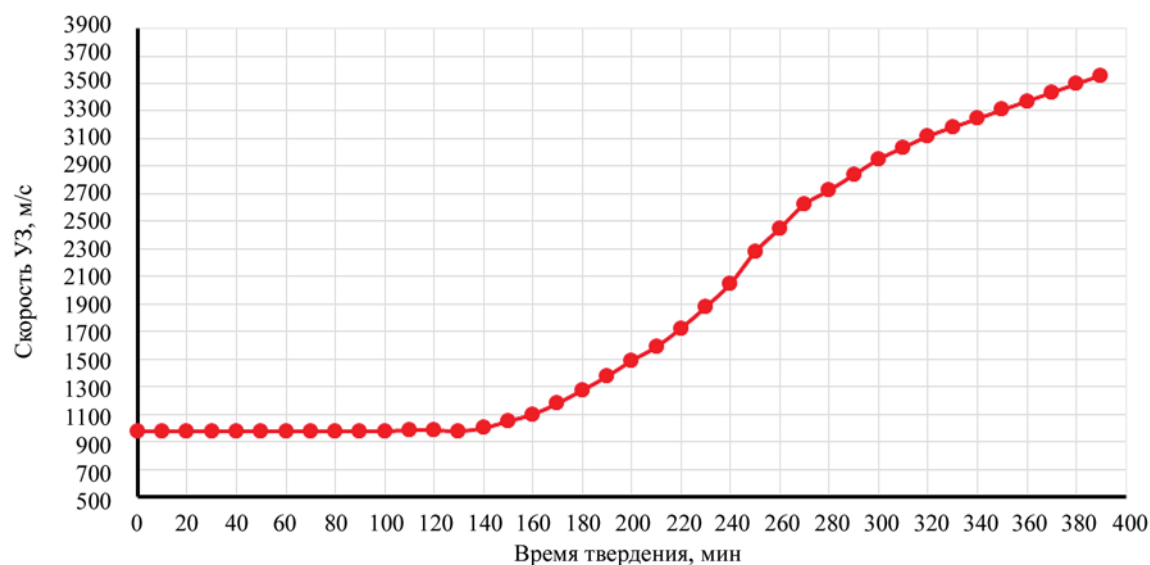


Рис. 9. Изменение скорости прохождения ультразвука в зависимости от времени твердения бетонной смеси

Табл. 4. Определение водопотребности заполнителя в бетонной смеси

$K_{\text{зап}}, \%$	$K_{\text{зап}} = B_{\text{зап}} / P_{\text{зап}}$	$B_{\text{зап}} = B_{\text{затв}} - B_{\text{ц}}$	$B_{\text{ц}} = \frac{B}{\frac{P}{P_{\text{ист}}}}$	ПФС, мин
5,4	0,054	67	195	140

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях повышенных температур и пониженной относительной влажности применение доломитовых заполнителей является особенно актуальным. Однако бетонные смеси с карбонатными заполнителями обладают повышенной водопотребностью, что связано с высоким водопоглощением, пористой поверхностью и различной удельной поверхностью заполнителей.

Определены водопотребность крупного доломитового заполнителя фракции 5–10 мм ультразвуковым методом; водопотребность мелкого заполнителя по ускоренной методике, который представляет собой укрупненный песок из отсева дробления доломитового щебня.

Установлено, что средняя плотность зерен доломитового щебня в куске, определяемая в цементном тесте, составила 2,5 г/см³.

Выявлена величина водопоглощения доломитового заполнителя, а также содержание пылевидных и глинистых частиц.

Использование доломитового заполнителя должно быть ограничено в бетонах, эксплуатируемых при отрицательных температурах. Необходим комплекс исследований о влиянии доломитового наполнителя на прочность и долговечность бетона в условиях сухого жаркого климата. Ввиду повышенной водопотребности, особенно в условиях повышенных температур и низкой относительной влажности, исследование влияния доломитового заполнителя на сохраняемость бетонных смесей является особенно актуальным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самченко С.В., Ларсен О.А., Альобаиди Д.А.Н., Наруть В.В., Бахрах А.М., Солодов А.А. Бетоны на карбонатном сырье для сухого жаркого климата // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 9. С. 74–79. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.09.74-79. EDN JZTOJO.
2. Samchenko S.V., Larsen O.A., Kozlova I.V., Alpackiy D.G., Alobaidi D.A.N. Concrete modification for hot weather using crushed dolomite stone // Buildings.

2023. Vol. 13. Issue 10. P. 2462. DOI: 10.3390/buildings13102462

3. Soroka I., Ravina D. Hot weather concreting with admixtures // Cement and Concrete Composites. 1998. Vol. 20. Issue 2–3. Pp. 129–136. DOI: 10.1016/S0958-9465(98)80005-X

4. Алимов Л.А., Воронин В.В., Ларсен О.А. Оценка влияния компонентов бетона на формирование его структуры и свойств // Техника и техно-

логия силикатов. 2020. Т. 27. № 1. С. 20–24. EDN KYFYIL.

5. Ларсен О.А., Воронин В.В., Самченко С.В. Критерии оценки структурно-технологических характеристик бетона // Техника и технология силикатов. 2023. Т. 30. № 2. С. 129–143. EDN QXSDZK.

6. Маилян Р.Л. Бетон на карбонатных заполнителях. Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 1967. 272 с.

7. Образцов И.В., Белов В.В. Программно-вычислительный метод подбора зернового состава заполнителя // II Международный семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей : сб. докл. 2011. С. 88–91.

8. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности — зеленая альтернатива цементной индустрии России // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 76–82. EDN SCZHZH.

9. Sernas O., Vorobjovas V., Sneideraitienė L., Vaitkus A. Evaluation of asphalt mix with dolomite aggregates for wearing layer // Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. Pp. 732–737. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.340

10. Thorpe D., Zhuge Y. Advantages and disadvantages in using permeable concrete as a pavement construction material // Proceedings of 26th annual ARCOM conference. 2010. Pp. 1341–1350.

11. Cohen E., Peled A., Bar-Nes G. Dolomite-based quarry-dust as a substitute for fly-ash geopolymers and cement pastes // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 235. Issue 3. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.261

12. Balakrishnan S.D., Paulose K.C. Workability and strength characteristics of self-compacting concrete

containing fly ash and dolomite powder // AJER. 2013. Vol. 24. Pp. 43–47.

13. Isa N.F., Muhammad K., Yahya N., Ahmad M.M., Manaf A., Hisyam M.B. et al. Dolomite quarry waste as sand replacement in sand brick // Materials Science Forum. 2016. Vol. 857. Issue 5. Pp. 319–322.

14. Selvan David A., Sutar Raajan V.C. An experimental study on autoclaved aerated concrete by replacing fine aggregate with dolomite // Icon (Integrating Concepts). 2016. Vol. 1. Issue 1. P. 10.

15. Abdel-Hay A.S. Properties of recycled concrete aggregate under different curing conditions // HBRC Journal. 2017. Vol. 13. Issue 3. Pp. 271–276. DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.07.001

16. Korjaks A., Gaidukovs S., Sahmenko G., Bajare D., Pizele D. Investigation of alternative dolomite filler properties and their application in concrete production // Scientific Journal of Riga Technical University. Construction Science. 2008. Vol. 2. Issue 9. Pp. 64–71.

17. Алимов Л.А. Исследование влияния структурных характеристик на основные физико-механические свойства бетонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1970. 12 с.

18. Netinger I., Miličević I., Guljas I. The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates // Fire Safety Journal. 2011. Vol. 46. Issue 7. Pp. 425–430. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.07.002

19. Donza H., Cabrera O., Irassar E.F. High-strength concrete with different fine aggregate // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32. Issue 11. Pp. 1755–1761. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00860-8

20. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. Получение бетона заданных свойств. М. : Стройиздат, 1978. 53 с.

Поступила в редакцию 18 февраля 2024 г.

Принята в доработанном виде 17 марта 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Светлана Васильевна Самченко — доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов и изделий; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; samchenko@list.ru;

Оксана Александровна Ларсен — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и изделий; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; larsen.oksana@mail.ru;

Дия Абдулкадим Насер Альобаиди — аспирант; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; dheya.alobaidi@gmail.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The level of utilization of carbonate raw materials and their wastes in the form of siftings, dust of aspiration systems and so on is the most important factor ensuring the reduction of energy costs and the possibility of producing new quality products.

Traditionally, carbonate materials found application in the prefabricated reinforced concrete industry, road construction, cement and lime production. Carbonate materials are also used in metallurgical production, agriculture and other areas.

Carbonate aggregates are widely used in the design of concrete compositions working in conditions of elevated temperatures and reduced relative humidity [1]. Carbonate rubble is obtained by crushing at quarries of non-metallic minerals, which produces a significant amount of fractions up to 5 mm in size, containing from 12 to 40 % of grains smaller than 0.16 mm [2]. Carbonate aggregate production waste can be used for the production of crushed sand and concrete filler by additional grinding operations.

Analysis of literature data showed that concrete mixtures on carbonate aggregates increased water consumption [3]. This can be explained, first of all, by the porous structure of carbonate rock. It is noted that concrete mixtures on carbonate sand have good water-holding capacity, while there is no stratification of the mixture and water separation¹.

The aggregate affects the structure of the cement stone, the properties of the concrete mix and the concrete. Depending on its content and specific surface area, the mobility of the concrete mixture decreases and the setting time is shortened. This is because the aggregate diverts part of the mixing water, so the properties of the concrete mixture are determined by a slightly lower water-cement ratio compared to the mixing water-cement ratio [4]. The introduction of additional water to achieve the same properties characterizes the water demand of the aggregate [5, 6]. The strength of aggregate, which determines the strength of concrete, is characterized not only by the type of rock from which it is obtained, but also by the grain size. The smaller the grains, the less defects they contain and their strength is higher [7, 8].

Dolomite is widely used in the construction industry and road building. There is the use of dolomite for the production of asphalt concrete mixture for road pavement [9].

Coarse aggregate from dolomite can be used to produce concrete [6, 10–12].

Sand bricks were produced on the basis of crushing sands with replacement of fine aggregate with dolomite aggregate in the amount of 25, 50, 75 and 100 % of aggregate weight [13]. Sand from dolomite crushing sands was used to produce autoclaved aerated concrete with improved performance [14].

It was found that the mobility of concrete decreases with the introduction of crushing screenings when the binder material is partially replaced as filler². The introduction of aggregate from dolomite crushing sands in the amount of 10 to 100 % reduces the mobility of concrete [15].

The influence of fine dolomite aggregate on the mobility of concrete is observed. When dolomite sand was introduced into the concrete composition in the amount from 25 to 100 %, the mobility of the concrete mixture of the control composition decreased from 105 to 70 mm [16].

The influence of aggregates on the strength properties of concrete used in conditions of elevated temperatures and low relative humidity is noted. When fine carbonate aggregate is introduced into concrete composition, despite its higher water consumption compared to quartz sand, higher strength of concrete is ensured. Increased strength is associated with higher water consumption and increased water absorption, lower actual water-cement ratio during curing and return of previously absorbed water to the cement stone, which increases the degree of cement hydration.

There is a positive effect of aggregates from crushing screenings on the deformation properties of self-compacting concrete³. Shrinkage deformations during drying of the compositions containing fine aggregate from dolomite in the amount from 7 to 28 % were smaller in comparison with the control compositions. The optimum content of fine dolomite aggregate is 7–14 % of the weight of all aggregates of self-compacting concrete mixture, which prevents the delamination of the mixture, increases the mobility and improves the mechanical properties of concrete. However, further increase of the content in the concrete composition contributed to the increase of shrinkage deformations.

Water consumption of granite crushed stone by mass fraction 5–20 mm is 3.25–3.4 %, river gravel with a limiting size of crushed stone 5–20 mm — 2.6–2.98 %, limestone crushed stone — 5.15–5.5 %, quartz construction sand — 7.1–8 %, river sand — 7.15–8.1 %, expanded clay of 0.14–20 mm fraction — 20–24.5 %, keramzite sand — 23.8–26.2 % [17].

Dolomite is widely used in the building industry and road construction, large and fine dolomite aggregates — in the production of carbonate concrete for road construction, which is due to their high active structure-forming role [6]. This influence is manifested in the strengthening of the contact zone between cement stone and carbonate aggregate, which occurs due to the high adhesive bond between them due to the high

² Barbhuiya S. Effects of fly ash and dolomite powder on the properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2011; 25(8):3301-3305.

³ Rudžionis Ž., Ivanauskas E., Senkus M. The Analysis of secondary raw materials usage in self-compacting concrete production. *Mater. Sci. II*. 2005; 272-277.

¹ Guidelines for concrete works in dry hot climates. Moscow. Stroyizdat, 1977; 81.

porosity of the aggregate and the physical and chemical activity of limestone and dolomite.

Mortars on dolomite and limestone aggregates retain their strength at high temperatures up to 700 °C compared to conventional granite [18].

Coarse aggregate based on dolomite is used for the production of concrete with increased permeability for road surfaces [10], as well as for the production of asphalt concrete mixtures [9]. Dolomite is used in the production of wall stones as a substitute for quartz sand when it is introduced in the amount of 0, 25, 50, 75 and 100 % of the weight of fine aggregate [19], as well as in the production of autoclaved aerated concrete, which showed high performance indicators compared to conventional autoclaved aerated concrete [14].

Based on the above, it can be concluded that the determination of such indicators as water consumption, water absorption of dolomite-based aggregate is necessary and important due to its special structure.

MATERIALS AND METHODS

The following materials were used in this study:

- portland cement CEM I 52,5H “HeidelbergCement Rus”, in accordance with GOST 31108–2020, with specific surface area 377.3 m²/kg, mineralogical and chemical compositions presented in Tables 1, 2. The main properties of Portland cement: setting time — beginning and end of setting 195 and 235 min respectively, water content — 30.2 %; compressive strength at the age of 2 and 28 days — 29.9 and 62.6 MPa respectively;

- dolomite crushed stone of fraction 5–10 with particle size distribution shown in Fig. 1. Chemical composition of aggregate is presented in Table 3, phase composition — in Fig. 2;

- standard monofractional sand in accordance with GOST 6139–2020 “Sand for cement testing. Technical conditions”.

Table 1. Mineralogical composition of Portland cement CEM I 52.5H “HeidelbergCement Rus”

Mineralogical composition, %			
CS ₃	CS ₂	CA ₃	C ₄ AF
64	14	7	11

Table 2. Chemical composition of Portland cement CEM I 52.5H “HeidelbergCement Rus”

Chemical composition, %											
SiO ₂	AlO ₂₃	FeO ₂₃	CaO	MgO	SO ₃	KO ₂	NaO ₂	MnO	TiO ₂	PO ₂₅	n.p.s.
21.23	4.78	3.31	62.95	1.65	3.22	0.66	0.12	0.08	0.28	0.06	1.60

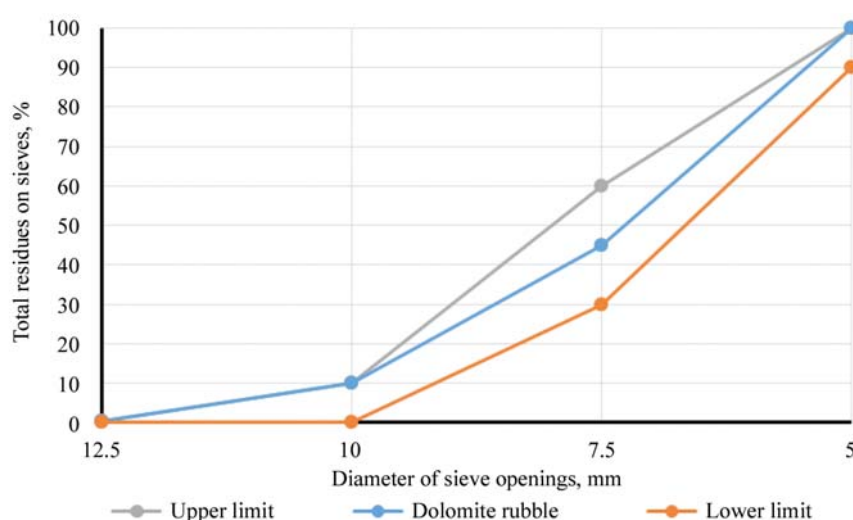


Fig. 1. Particle size distribution of dolomite coarse aggregate with size of 5–10 mm

Table 3. Chemical composition of dolomite coarse aggregate

Chemical composition, %											
SiO ₂	AlO ₂₃	FeO ₂₃	CaO	MgO	SO ₃	KO ₂	NaO ₂	MnO	TiO ₂	PO ₂₅	n.p.s.
2.12	0.69	0.32	35.56	17.38	0.15	0.19	0.08	0.01	0.03	0	45.16

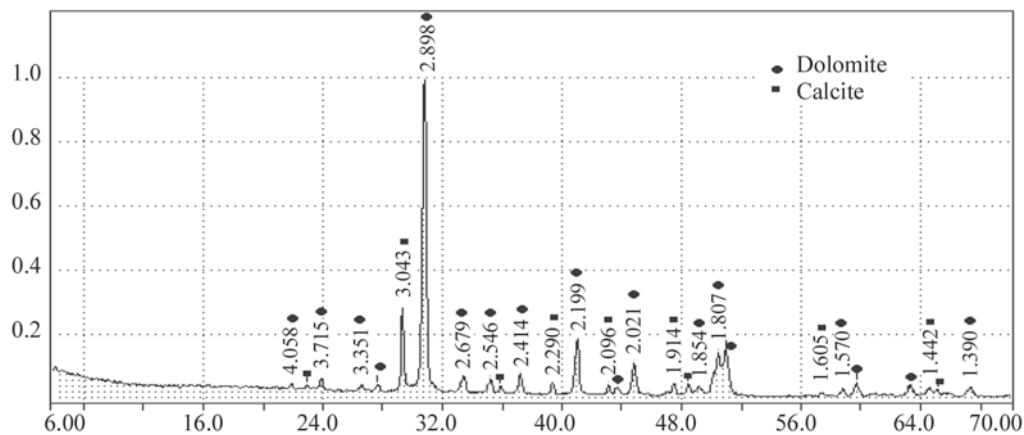


Fig. 2. X-ray diffractogram of dolomite crushing screenings

Chemical analysis of Portland cement and dolomite aggregate was studied on Bruker S4 Pioneer and Bruker S8 Tiger X-ray analyzer. Mineralogical composition of Portland cement was determined on Bruker D2 laser diffractometer.

The water content of coarse dolomite aggregate was determined by ultrasonic method [20].

The water content of fine aggregate was determined using an accelerated method on equal-size mixtures.

Average density in a piece in the cement test of carbonate crushed stone fraction 5–10 mm was detected in accordance with GOST 9758–2012 “Porous inorganic aggregates for construction works. Test methods”. A 3.5 litre specimen of carbonate crushed stone of 5–10 mm fraction was taken. Then 1.7 kg of cement and 3.4 kg of standard monofractional sand were mixed in a baking tray. The required amount of water was introduced into the resulting mixture to achieve a mixture consistency with a stiffness of 5–10 s (Fig. 3), which was evaluated on a Vebe instrument. The obtained mixture was kept for 15 min, then it was filled into a 5 litre vessel, in

which the mixture was further compacted on a vibrating platform for 30–60 s and weighed.

The average density of dolomite crushed stone grains in the piece was 2.5 g/cm³, determined in accordance with GOST 9758–2012 “Porous inorganic aggregates for construction works. Test methods”. Such important indicators of aggregate as hollowness and porosity of dolomite aggregate were established on the basis of data of average density in a piece and bulk density. The volume of intergranular voids of dolomite aggregate was 41.9 %, it was calculated according to the method presented in GOST 8735–88 “Sand for construction works. Test methods”.

Water demand was determined by the accelerated method proposed by Yu.M. Bazhenov on equal-moving mixtures. This method includes the use of a shaking cone Hagerman, it sets the diameter of the spreading of cement paste at $(W/C)_c$, corresponding to its normal density and equal to 170 mm. Then the mortar of composition 1:2 is made and the amount of water is selected. $(W/C)_m$ required to obtain a spreading diameter of 170 mm. The water requirement of consolidated sand



Fig. 3. Vebe consistometer for determining the stiffness of concrete mix

consisting of 50 % quartz sand and 50 % sand from dolomite crushing sands was 5.3 % and was calculated by the formula:

$$K_{ws} = \frac{(W/C)_m - (W/C)_c}{2} 100 \%. \quad (1)$$

The water absorption of dolomite crushed stone and the content of dust and clay particles in the aggregate were also determined, which were 2.6 and 2.95 %, respectively (Fig. 4).

RESULTS

The ultrasonic method for determining the water content of aggregate is as follows. The water content of the aggregate is determined directly in the concrete mix itself by comparing the structure formation period (SFP) of the concrete with the SFP of the cement stone prepared with the same cement. For this purpose, cement batter is made with different water-cement ratio, which is in the range of $0.876-1.65K_{nd}$ at which a cohesive coagulation structure of the cement paste is formed. The prepared paste is poured into a plastic mould with

a mesh size of $10 \times 10 \times 10$ cm (Fig. 5). Next, the rate of ultrasound passage through the cement paste is determined every 5 min.

The end of structure formation is characterized by a sharp increase in the ultrasound passage velocity (Fig. 6). Having determined the curing time of cement paste depending on different W/C , a graph is plotted (Fig. 7). Thus, a reference curve of W/C dependence on curing time for a given cement is obtained.

The methodology for determining the water content of aggregate differs from the existing ones and is carried out for a concrete mixture consisting of 650 kg of Portland cement and mass of aggregate calculated according to the formula:

$$M_{ag} = 0.5\rho_0^k, \quad (2)$$

where ρ_0^k — is the average density of aggregate in the lump, t/m^3 .

The concrete mixture is prepared by adding the necessary amount of water to achieve a mobility at which a cone settlement of 1–2 cm is achieved (Fig. 8). The ultrasonic velocity (UZ) is determined using plas-



Fig. 4. Determination of dust and clay particles content in dolomite aggregate

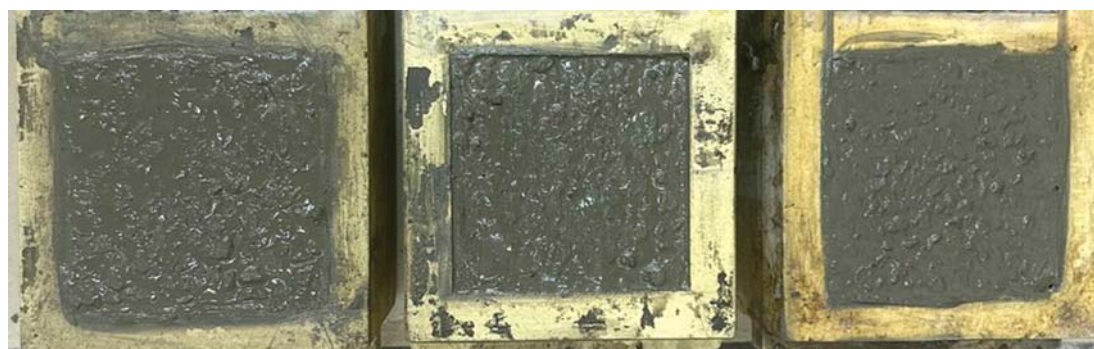


Fig. 5. Moulds with cell size $10 \times 10 \times 10 \times 10$ cm for determination of PFS of cement paste

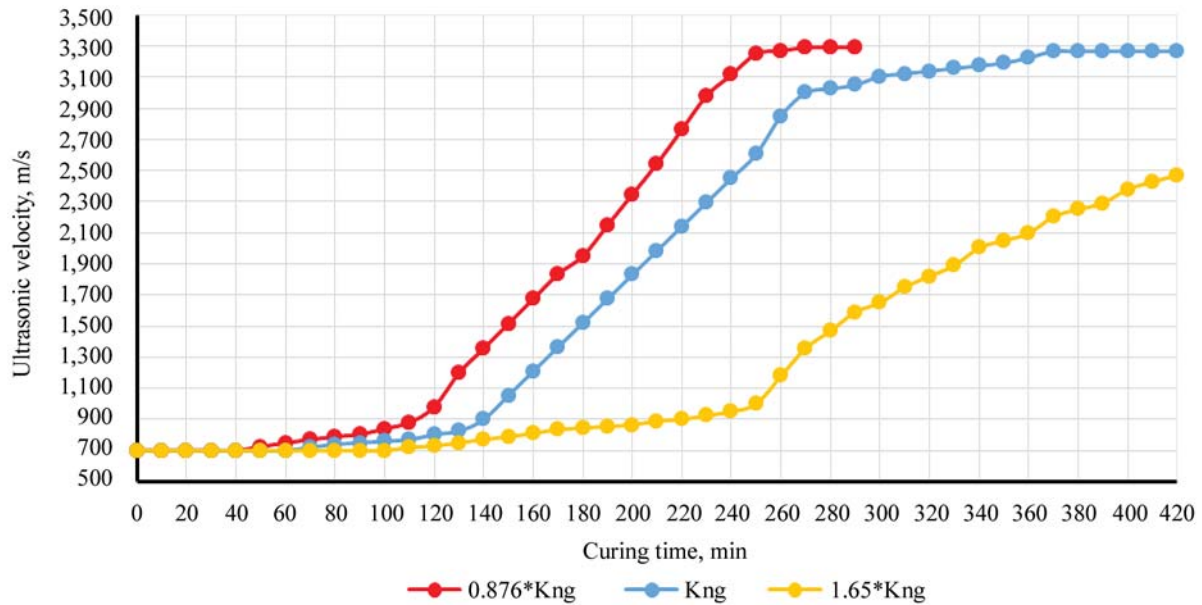


Fig. 6. The variation of ultrasonic velocity as a function of cement paste curing time

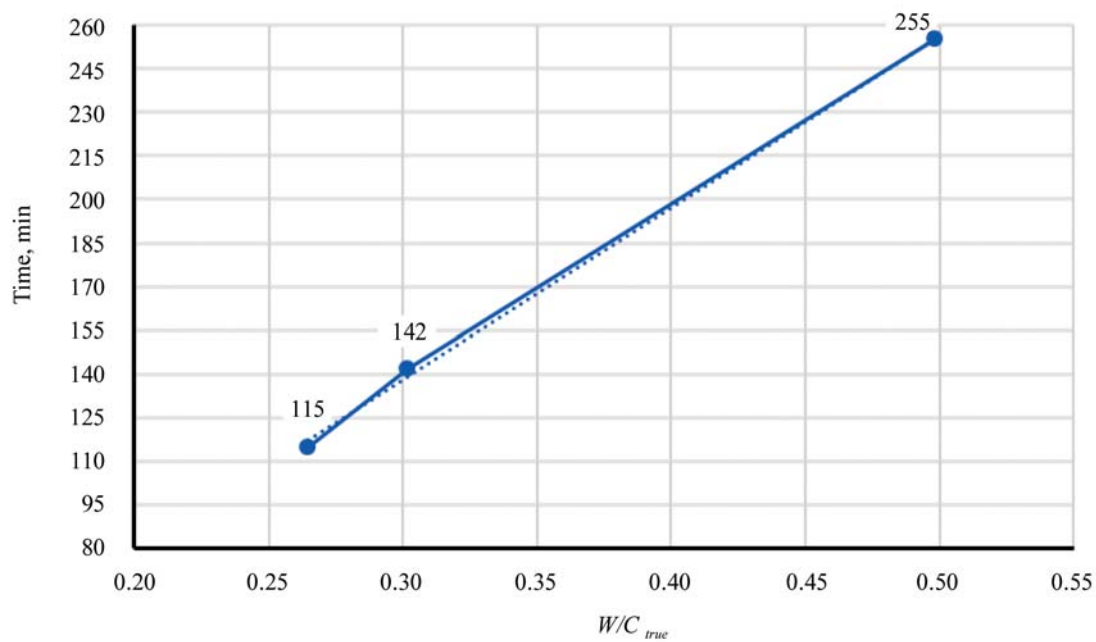


Fig. 7. Variation of cement paste curing time as a function of water-cement ratio

tic moulds in which the prepared concrete mixture is placed. The measurement of the ultrasonic velocity is performed every 20 min. Fig. 9 shows the data on the change of ultrasonic velocity with the curing time of the mixture from the beginning of its mixing.

Next, the PFS time of the concrete mixture with the tested aggregate is set according to Fig. 9. Then the amount of water diverted by the aggregate is de-

termined W_{ag} which is calculated according to the formula:

$$\begin{aligned} W_{ag} &= W_m - W_c; \\ W_c &= C \cdot \frac{W}{C_{true}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Table 4 shows the data obtained in determining the water content of aggregate in the concrete mix.



Fig. 8. Preparation of a reference concrete mix with dolomite aggregate

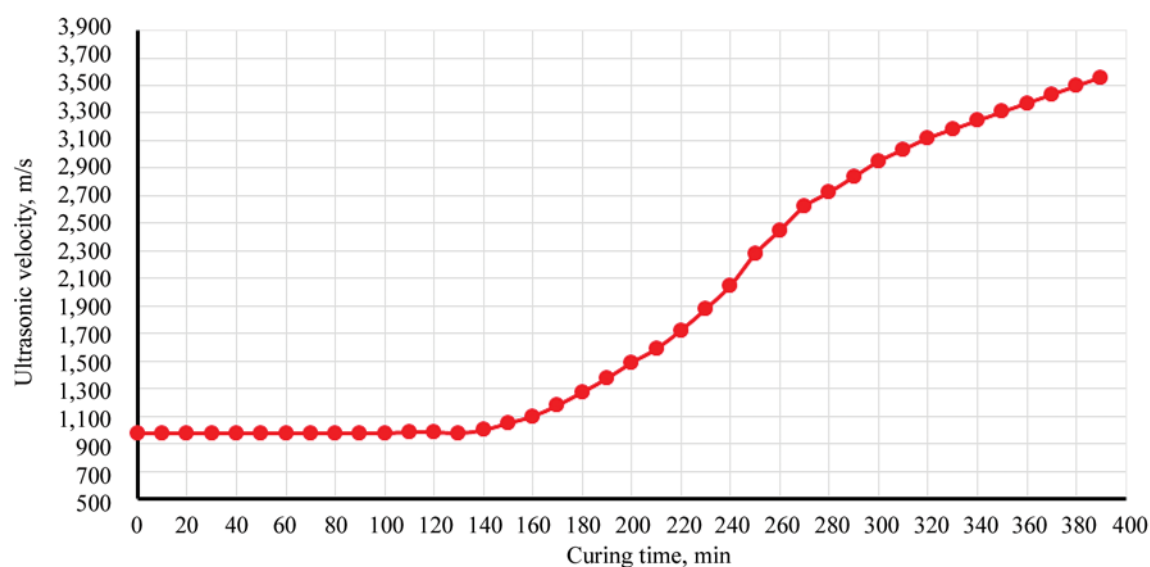


Fig. 9. The variation of ultrasonic velocity as a function of curing time of concrete mixture

Table 4. Determination of water content of aggregate in concrete mixture

$K_{ag}, \%$	$K_{ag} = W_{ag} / M_{ag}$	$W_{ag} = W_m - W_c$	$W_c = C \cdot \frac{W}{C_{tru}}$	PFS, min
5.4	0.054	67	195	140

CONCLUSION AND DISCUSSION

In conditions of high temperatures and low relative humidity, the use of dolomite aggregates is especially relevant. However, concrete mixtures with carbonate aggregates have increased water consumption, which is due to high water absorption, porous surface and different specific surface area of aggregates.

Water consumption of coarse dolomite aggregate of 5–10 mm fraction by ultrasonic method was determined; water consumption of fine aggregate by accelerated method, which is enlarged sand from dolomite crushed stone screening.

It was found that the average density of dolomite crushed stone grains in the lump determined in the cement test was 2.5 g/cm³.

The water absorption value of dolomite aggregate as well as the content of dust and clay particles was revealed.

The use of dolomite aggregate should be limited in concrete used at sub-zero temperatures. A set of studies on the effect of dolomite aggregate on the strength and durability of concrete in dry, hot climates is needed. In view of the increased water consumption, especially in conditions of high temperatures and low relative humidity, the study of the influence of dolomite aggregate on the storability of concrete mixtures is particularly relevant.

REFERENCES

1. Samchenko S.V., Larsen O.A., Alobaidi D.A.N., Naruts V.V., Bahrah A.M., Solodov A.A. Concretes based on carbonate raw materials for the dry hot climate. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 9:74-79. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.09.74-79. EDN JZTOJO. (rus.).
2. Samchenko S.V., Larsen O.A., Kozlova I.V., Alpackiy D.G., Alobaidi D.A.N. Concrete modification for hot weather using crushed dolomite stone. *Buildings*. 2023; 13(10):2462. DOI: 10.3390/buildings13102462
3. Soroka I., Ravina D. Hot weather concreting with admixtures. *Cement and Concrete Composites*. 1998; 20(2-3):129-136. DOI: 10.1016/S0958-9465(98)80005-X
4. Alimov L.A., Voronin V.V., Larsen O.A. Assessment of the influence of concrete components on the formation of its structure and properties. *Technique and Technology of Silicates*. 2020; 27(1):20-24. EDN KYFYIL. (rus.).
5. Larsen O.A., Voronin V.V., Samchenko S.V. Criteria for estimation the structural and technological characteristics of concrete. *Technique and Technology of Silicates*. 2023; 30(2):129-143. EDN QXSDZK. (rus.).
6. Mailyan R.L. *Concrete on carbonate aggregates*. Rostov on Don, Publishing House of Rostov. Un., 1967; 272. (rus.).
7. Obratsov I.V., Belov V.V. A software-computational method for selecting the grain composition of a filler. *II International seminar-competition of young scientists and graduate students working in the field of binders, concrete and dry mixes : collection of reports*. 2011; 88-91. (rus.).
8. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements of low water demand — a green alternative to the cement industry in Russia. *Construction Materials*. 2014; 5:76-82. EDN SCZHZH. (rus.).
9. Sernas O., Vorobjovas V., Sneideraitienė L., Vaitkus A. Evaluation of asphalt mix with dolomite aggregates for wearing layer. *Transportation Research Procedia*. 2016; 14:732-737. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.340
10. Thorpe D., Zhuge Y. Advantages and disadvantages in using permeable concrete as a pavement construction material. *Proceedings of 26th annual ARCOM conference*. 2010; 1341-1350.
11. Cohen E., Peled A., Bar-Nes G. Dolomite-based quarry-dust as a substitute for fly-ash geopolymers and cement pastes. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 235(3). DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.261
12. Balakrishnan S.D., Paulose K.C. Workability and strength characteristics of self-compacting concrete containing fly ash and dolomite powder. *AJER*. 2013; 24:43-47.
13. Isa N.F., Muhammad K., Yahya N., Ahmad M.M., Manaf A., Hisyam M.B. et al. Dolomite quarry waste as sand replacement in sand brick. *Materials Science Forum*. 2016; 857(5):319-322.
14. Selvan David A., Sutar Raajan V.C. An experimental study on autoclaved aerated concrete by replacing fine aggregate with dolomite. *Icon (Integrating Concepts)*. 2016; 1(1):10.
15. Abdel-Hay A.S. Properties of recycled concrete aggregate under different curing conditions. *HBRC Journal*. 2017; 13(3):271-276. DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.07.001
16. Korjaks A., Gaidukovs S., Sahmenko G., Bajare D., Pizele D. Investigation of alternative dolomite filler properties and their application in concrete production. *Scientific Journal of Riga Technical University. Construction Science*. 2008; 2(9):64-71.
17. Alimov L.A. *Investigation of the influence of structural characteristics on the basic physical and mechanical properties of concrete : abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences*. Moscow, 1970; 12. (rus.).
18. Netinger I., Miličević I., Guljas I. The effect of high temperatures on the mechanical properties of concrete made with different types of aggregates. *Fire Safety Journal*. 2011; 46(7):425-430. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.07.002
19. Donza H., Cabrera O., Irassar E.F. High-strength concrete with different fine aggregate. *Cement and Concrete Research*. 2002; 32(11):1755-1761. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00860-8
20. Bazhenov Yu.M., Gorchakov G.I., Alimov L.A., Voronin V.V. *Obtaining concretes of specified properties*. Moscow, Stroyizdat, 1978; 53. (rus.).

Received February 18, 2024.

Adopted in revised form on March 17, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S: **Svetlana V. Samchenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials and Products; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; samchenko@list.ru;

Oksana A. Larsen — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials and Products; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; larsen.oksana@mail.ru;

Dheyaa Abdulkadhim Naser Alobaidi — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; dheyaa.alobaidi@gmail.com.

*Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflicts of interest.*