

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-4-197-202



Оригинальная статья /Original article

Современные бетонные композиты для сейсмостойкого строительства
С.-А. Ю. Муртазаев^{1,2}, С.Г. Шеина³, М.С. Сайдумов^{1,4}, И. С.-А. Муртазаев^{1,2}

¹Грозненский государственный нефтяной технический университет

имени академика М.Д. Миллионщикова,

¹364051, г. Грозный, пр. Исаева, 100, Россия,

²Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН,

²364051, г. Грозный, ул. В. Алиева (Старопромысловское шоссе), 21, Россия,

³Донской государственный технический университет,

³344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, Россия,

⁴Академия наук Чеченской республики,

⁴364043, г. Грозный, ул. В. Алиева, 19а, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка сейсмостойких строительных композитов. **Метод.** Исследование основано на проведении экспериментальных динамических испытаниях мелкозернистого бетона. Аналитически обобщены существующие подходы к обеспечению сейсмической безопасности зданий и сооружений. **Результат.** Представлен отечественный и зарубежный опыт проектирования составов мелкозернистых бетонов для сейсмостойкого строительства. Получены составы мелкозернистых бетонов различных классов с использованием сырья природного и техногенного происхождения. Предложены рецептуры и изучены их строительно-технические и динамические свойства. **Вывод.** Динамическая прочность мелкозернистого бетона повышается с уменьшением времени нагружения, причем при времени нагружения, равном приблизительно 0,01 сек или скорости нагружения около 5000-7000 МПа×сек, это превышение составляет около 30 % по сравнению со статической прочностью бетона. Это позволяет рекомендовать мелкозернистые бетоны для конструкций, испытывающих динамическое воздействие.

Ключевые слова: бетонные композиты, мелкозернистые бетонные смеси, сейсмостойкое строительство, заполнители, микрозаполнители, динамическая прочность, абсолютное и относительное отклонение

Для цитирования: С.-А. Ю. Муртазаев, С. Г. Шеина, М.С. Сайдумов, И. С.-А. Муртазаев. Современные бетонные композиты для сейсмостойкого строительства. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(4): 197-202. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-4-197-202

Modern concrete composites for earthquake-resistant construction

S.-A. Yu. Murtazaev^{1,2}, S.G. Sheina³, M.S. Saidumov^{1,4}, I. S.-A. Murtazaev^{1,2}

¹Acad. M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University,

¹100 Kh. Isaev Ave., Grozny, 364051, Russia,

²Kh.I. Ibragimov Complex Research Institute of the Russian Academy of Sciences,

²21 V. Alieva (Staropromyslovskoe highway), Grozny 364051, Russia,

³Don State Technical University,

³Gagarin Square, Rostov-on-Don 344003, Russia,

⁴Academy of Sciences of the Chechen Republic,

⁴19a V. Alieva St., Grozny 364043, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the research is to develop earthquake-resistant building composites **Method.** The study is based on experimental dynamic testing of fine-grained concrete.

Existing approaches to ensuring seismic safety of buildings and structures are analytically summarized. **Result.** Domestic and foreign experience in designing fine-grained concrete compositions for earthquake-resistant construction is presented. Compositions of fine-grained concrete of various classes were obtained using raw materials of natural and man-made origin. Recipes were proposed and their construction, technical and dynamic properties were studied. **Conclusion.** The strength of fine-grained concrete increases with decreasing loading time, and at a loading time of approximately 0.01 sec or a loading rate of about 5000-7000 MPa/sec, this excess is about 30% compared to the statistical strength of concrete. This allows us to recommend fine-grained concrete for structures experiencing dynamic impact.

Keywords: concrete composites, fine-grained concrete mixtures, earthquake-resistant construction, aggregates, microfillers, dynamic strength, absolute and relative deviation

For citation: S.-A. Yu. Murtazaev, S. G. Sheina, M.S. Saidumov, I. S.-A. Murtazaev. Modern concrete composites for earthquake-resistant construction. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023; 50(4): 197-202. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-4-197-202.

Введение. Разработка современных подходов к комплексному проектированию методов и способов сейсмостойкого строительства остается важнейшей проблемой во всех сейсмоопасных регионах страны и мира. Недавнее землетрясение в приграничных районах Сирии и Турции показало насколько ответственной является задача неукоснительного соблюдения действующих и разработка новых норм и правил сейсмостойкого строительства с учетом целого комплекса вопросов как организационно-технического характера, так и производственно-технологического характера.

Постановка задачи. Как известно, задачей №1 строительства в районах с повышенной сейсмической активностью, предполагающей высокочастотные землетрясения с большей вероятностью, является сохранение жизни человека. Для решения этой задачи на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений необходимо учитывать особенности строительства и эксплуатации применительно к условиям сейсмической активности. Причем, предлагаемые для этого решения должны носить комплексный характер, начиная от выбора площадки строительства, конструктивных элементов фундаментов, несущего каркаса здания и применяемых материалов для предлагаемых конструктивных элементов. Именно на последних хотелось бы сделать акцент и сформулировать современные подходы к получению сейсмостойких строительных композитов.

Прочность строительных материалов и конструкций зависит не только от физических свойств, но во многом определяется теми условиями, в которых они находятся при эксплуатационных нагрузках. В условиях землетрясений прочностные характеристики материалов, естественно, будут в большей степени определяться особенностями самой сейсмической нагрузки [1-4].

Одной из таких особенностей, характерной для любого землетрясения, является кратковременность действия нагрузки, т.е. сравнительно малое количество циклов ее повторения. Другим фактором, имеющим большое значение для работы строительных конструкций и материалов, является частота нагрузки.

Методы исследования. Как показывают многочисленные экспериментальные исследования, оказывается, что независимо от частот внешнего воздействия, сооружения обычно колеблются с частотой, отвечающей частоте их собственных колебаний. Периоды же свободных колебаний большинства зданий и сооружений составляют около 0,1-2,0 с, и, следовательно, частота динамической нагрузки, испытываемой сооружением в условиях землетрясений, будет находиться в основном в пределах 0,5-10 Гц.

Рассматривая несущую способность конструкций и материалов, следует иметь в виду, что сильное землетрясение - явление относительно редкое, поэтому обеспечение эксплуатационной полноценности объектов после землетрясения представляется

экономически не целесообразным, так как срок службы таких зданий может быть меньше периода повторяемости сильных землетрясений. Поэтому в сейсмостойком строительстве не ставится требование обеспечения полной сохранности и годности к дальнейшей эксплуатации зданий, перенесших землетрясения; главное, как было отмечено выше, - обеспечить безопасность людей и сохранность наиболее ценного оборудования. Такое требование определяет понятие предельного состояния конструкции, которое позволяет любые деформации, не приводящие к обрушению конструкции. В этих условиях предельная несущая способность конструкций может определяться только предельными прочностными характеристиками материалов.

Например, несущая способность железобетонных конструкций не должна ограничиваться моментом появления в арматуре напряжений, соответствующих пределу текучести арматурной стали, она должна определяться ее пределом прочности, что, естественно, приводит к существенному увеличению несущей способности.

Как отмечалось, несущая способность стали, бетона, железобетона и других материалов в условиях сейсмических воздействий определяется в основном динамическим характером нагрузки при сравнительно небольшом количестве циклов ее действия. При этом прочностные характеристики, естественно, будут отличаться как от прочности при однократном быстром нагружении (ударе), так и от прочности при большом, исчисляемом миллионами циклов, числе нагружении (усталостной прочности).

Поскольку прочность материалов в области немногочисленных повторных нагружений в известной степени связана и с их ударной, и усталостной прочностью, используют более общую характеристику несущей способности материалов при различных видах нагружения – динамическую прочность. Способность сопротивляться сейсмическим воздействиям бетонных конструкций зависит от динамической прочности, причем эта зависимость носит линейный характер.

Обсуждение результатов. При динамических испытаниях мелкозернистого бетона определялось влияние различных технологических факторов (состава бетона, качества заполнителей, условий выдерживания, механохимической активации) на коэффициент динамического упрочнения. Было изготовлено несколько серий образцов мелкозернистого бетона [5, 6]. В каждую серию входило 25 образцов – цилиндров диаметром и высотой 5 см. Перемешивание смеси на виброплощадке обеспечивало высокую ее однородность. Поскольку подвижность смеси (за исключением серии 5) составляла 115-125 мм по расплыву встряхивающего конуса, она достаточно хорошо уплотнялась вручную. Через сутки образцы распалубливали и далее хранили в воде при температуре около 20 °С.

За 4-5 суток до испытания образцы вынимали из ванны и выдерживали на воздухе при температуре около 20 °С и относительной влажности 65-70 %. Возраст бетона различных серий в момент испытания составлял от 14 до 73 суток, причем статические и динамические испытания проводились одновременно, в один и тот же день. Испытывали три группы образцов: одна группа из 7-8 образцов испытывалась при статическом нагружении и две группы по 7-8 образцов – при динамическом нагружении (при $T_{\text{дв}} \approx 0,01$ и 0,12 сек). Составы мелкозернистого бетона различных серий указаны в табл. 1.

Таблица 1. Составы мелкозернистого бетона

Table 1. Compositions of fine-grained concrete

№ составов /compositions	Ц:П	В/Ц	Возраст в момент испытания, сут/ Age at time tests, days	Среднее значение статического предела прочности при сжатии, МПа/ Average value of static compressive strength
1	1:2	0,38	72	67,2
2	1:1,5	0,32	71	78,0
3	1:2	0,35	54	55,1
4	1:2	0,44	51	45,9
5	1:2	0,48	29	57,3
6	1:2	0,40	14	20,7

Все серии были изготовлены на портландцементе активностью 44,6 МПа и удельной поверхностью 3670 см²/г. Образцы серии 3 были изготовлены на смешанном цементе, полученном совместным помолом портландцемента с песком в соотношении 1:1 в вибромельнице в течении 30 мин. Удельная поверхность смешанного цемента 7800 см²/г. Для бетона серии 1-3,5,6 был использован кварцевый песок средней крупности ($M_k=2,61$, полный остаток на сите 0,63 мм – 44 %, пустотность – 42,5 %, прошло через сито 0,14 мм – 3,7 %), для бетона серии 4 – мелкий песок ($M_k=1,29$, остаток на сите 0,63 мм – 4,8 %, пустотность – 47 %, прошло через сито 0,14 мм – 14 %). Образцы серии 6 пропаривали в течение 8 ч при температуре 90-95°C. Динамические испытания образцов мелкозернистого бетона были проведены на пневмодинамической установке. Результаты статических испытаний мелкозернистого бетона приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведена сравнительная оценка результатов опытов, позволяющая выявить влияние технологии на динамическую прочность мелкозернистого бетона.

Таблица 2. Сравнительная оценка влияния технологии на динамическую прочность мелкозернистого бетона

Table 2. Comparative assessment of the influence of technology on the dynamic strength of fine-grained concrete

№ серии	$R_{ст}$, МПа	Среднее значение $\tau_{д.у}$, сек Average value	R_d , МПа	$\tau_{д.у}$	Среднее значение $R_{д.у}$ при данном $\tau_{д.у}$ по испытаниям обычного бетона/ Average across trials ordinary concrete	ϕ , %	β , %
1	67,2	0,097 0,117	87,3 75,8	1,3 1,13	1,29 1,15	+0,8 -1,7	+3 -13
2	78,0	0,0127 0,133	100,1 91,2	1,29 1,17	1,27 1,15	+0,8 +1,7	+4 +13
3	55,1	0,009 0,126	72,0 68,0	1,31 1,23	1,30 1,15	+0,8 27	+3 +53
4	45,9	0,009 0,100	57,9 50,4	1,26 1,11	1,30 1,16	-3,1 -4,3	-13 -31
5	57,3	0,009 0,124	71,9 65,6	1,26 1,14	1,30 1,15	-3,1 -2,6	-13 -7
6	20,7	0,009 0,119	26,5 22,9	1,28 1,11	1,30 1,15	-1,5 -3,5	-7 -27

Для большей наглядности здесь наряду с отклонением в величине коэффициента динамического упрочнения указано отклонение в том приросте прочности ΔR_d , который наблюдается при быстром нагружении. Оно точнее характеризует особенности поведения материала при динамическом нагружении. Например, если средний коэффициент $R_{д.у}$ при $\tau_{макс}=0,01$ сек составит 1,3, а в каком-то опыте упрочнение не будет обнаружено совсем,

$$\varphi = \frac{R_{д.у} - R_{\phi}}{R_{\phi}} \times 100\%$$

т.е. $R_d = R_{ст}$, то отклонение составит всего 23 %, а отклонение

$\beta = \frac{\Delta R - R_{\phi}}{\Delta R}$ составит 100 %, т.е. покажет нам, что упрочнения нет (ΔR - прирост прочности в конкретном опыте, а ΔR – средний прочности для бетона). Если величина отклонения окажется более 100 %, то это будет означать, что прочность бетона при динамическом нагружении меньше прочности при статических испытаниях.

Вывод. Полученные результаты опытов позволяют сделать следующие выводы. Прочность мелкозернистого бетона повышается с уменьшением времени нагружения, причем при времени нагружения, равном приблизительно 0,01 сек или скорости нагружения около 5000-7000 МПа×сек, это превышение составляет около 30 % по сравнению со статической прочностью бетона. Характер разрушения образцов при динамическом и статическом нагружении внешне одинаков. Повышение плотности и уменьшение дефектов в цементном камне, приготовленном на смешанном цементе, домолотом с песком, несколько улучшило сопротивление мелкозернистого бетона динамическому нагружению.

Применение мелкого песка, пропаривания или бетонной смеси с повышенным В/Ц несколько снизило динамическую прочность по сравнению со средними ее значениями, ожидаемыми для данного времени нагружения. Динамическая прочность мелкозернистого бетона оптимальных составов оказалась несколько выше, чем у обычного бетона (рис. 1). Это позволяет рекомендовать мелкозернистые бетоны для конструкций, испытывающих динамическое воздействие.

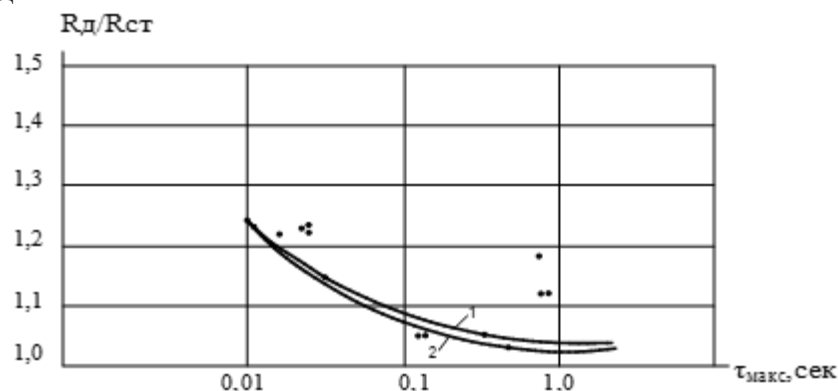


Рис.1. Динамическая прочность мелкозернистого (1) и обычного (2) бетонов

Fig.1. Dynamic strength of fine-grained (1) and ordinary (2) concrete

Рассмотренные технологические факторы в целом сравнительно мало влияют на динамическую прочность бетона, если при изготовлении обеспечивается его высокое качество. Это позволяет широко варьировать составы, материалы и технологию изготовления железобетонных конструкций, испытывающих быстрое общее нагружение материала (но не местные удары).

Библиографический список:

1. Баженов Ю.М. Бетон: технологии будущего / Ю.М. Баженов // Строительство: новые технологии – новое оборудование. -М.: ИД "Панорама", 2009. -№ 8. -С.29-32.
2. Европейский нормативный документ по самоуплотняющемуся бетону: DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie). Ausgabe November 2003.
3. Hillemeier B., Buchenau G., Herr R., Huttel R., Klubendorf St., Schubert K.: Spezialbetone, Betonkalender, Ernst & Sohn, 2006. -№1. -С.534-549.
4. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II / С.С. Каприелов [и др.] // Строительные материалы. - 2008. - №3. - С.9-13.
5. Монолитное строительство на территории России: история внедрения и перспективы развития. Сайт ООО «НПО «АНТАРЕС трейд». Санкт-Петербург, 2015. URL: http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe_stroitelstvo_na_territorii_rossii/
6. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны / Научное издание. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.
7. Баженов Ю.М., Батаев Д.К.-С., Муртазаев С.-А.Ю. [и др.]. Мелкозернистые бетоны из вторичного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений / Грозный, 2011. -342 с.
8. Муртазаев С.-А.Ю., Батаев Д.К.-С., Исмаилова З.Х. [и др.]. Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья -М.: «Комтех-принт», 2009. -142 с.
9. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. [и др.]. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. -М.: Изд-во АСВ, 2008. - 350 с.
10. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. Издательство ЛКИ, 2007. -296 с.
11. Лесовик В.С. Строительные композиты на основе отсеков дробления бетонного лома и горных пород / В.С. Лесовик, С.-А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов // Грозный, МУП «Типография», 2012. 192 с.
12. Федосов Н.Н. Новые строительные материалы / Н.Н. Федосов, Е.С. Клиничук, Т.Л. Вербицкая // Строительные материалы. – 2010. - № 3. – С. 67-68.
13. Кудрявцев А.П. Разработка в РААСН новых высокопрочных и долговечных строительных композиционных материалов / А.П. Кудрявцев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- 2006. - № 5. – С. 14-15.
14. Батраков В.Г., Модификаторы бетона новые возможности // Материалы I Всероссийской конференции по бетону и железобетону. М., 2001. -С. 184-197.
15. Murtazaev, S.-A.Y., Mintsae, M.S., Saydumov, M.S., Aliev, S.A. Strength and strain properties of concrete, comprising filler, produced by screening of waste crushed concrete // Modern Applied Science, 2015. -Vol.9. – № 4. – P.32-44.

16. Kuladzh, T.V., Murtazaev, S.I., Taimaskhanov, K.E., Aliiev, S.A., Mintsae, M.S. Professor M. D. Kargopolov's matrix formula-an effective tool to find the cost of construction products // Indian Journal of Science and Technology, Volume 8, Issue 29, Nov., 2015
17. Комохов П.Г. Шангина, Н.Н. Модифицированный цементный бетон, его структура и свойства // Цемент. 2002. -№1-2. -С. 43-46.

References

1. Bazhenov Yu.M. Concrete: technologies of the future. *Construction: new technologies – new equipment*. M.: Publishing House "Panorama", 2009; 8:29-32. (In Russ)
2. European normative document for self-compacting concrete: DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie). Ausgabe November 2003.
3. Hillemeier B., Buchenau G., Herr R., Huttel R., Klubendorf St., Schubert K.: Spezialbetone, Betonkalender, Ernst & Sohn, 2006; 1:534-549.
4. Kaprielov S.S. Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures. Part II . S.S. Kaprielov [and others]. *Construction materials*. 2008; 3:9-13. (In Russ)
5. Monolithic construction on the territory of Russia: history of implementation and development prospects. Website of NPO ANTARES Trade LLC. St. Petersburg, 2015. URL: http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe_stroitelstvo_na_territorii_rossii/(In Russ)
6. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concretes. *Scientific publication*. - M.: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2006; 368. (In Russ)
7. Bazhenov Yu.M., Bataev D.K.-S., Murtazaev S.-A.Yu. Fine-grained concrete from recycled materials for repair and restoration of damaged buildings and structures.[and others]. Grozny, 2011; 342. (In Russ)
8. Murtazaev S.-A.Yu., Bataev D.K.-S., Ismailova Z.Kh. [and etc.]. Fine-grained concrete based on fillers from recycled materials - M.: "Komtekhn-print", 2009;142. (In Russ)
9. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. [and etc.]. Technology of concrete, building products and structures. -M.: Publishing House ASV, 2008; 350. (In Russ)
10. Lhermit R. Problems of concrete technology. LKI Publishing House, 2007;296. (In Russ)
11. Lesovik B.C. Construction composites based on screenings from crushing concrete scrap and rocks. B.C. Lesovik, S.-A.Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov. Grozny, MUP "Printing", 2012; 192. (In Russ)
12. Fedosov N.N. New building materials / N.N. Fedosov, E.S. Klinchuk, T.L. Verbitskaya. *Construction materials*. 2010; 3: 67-68. (In Russ)
13. Kudryavtsev A.P. Development of new high-strength and durable construction composite materials at RAASN. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2006; 5:14-15. (In Russ)
14. Batrakov V.G., Concrete modifiers new opportunities. *Materials of the I All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete*. M., 2001; 184-197. (In Russ)
15. Murtazaev, S.-A.Y., Mintsae, M.S., Saydumov, M.S., Aliev, S.A. Strength and strain properties of concrete, comprising filler, produced by screening of waste crushed concrete. *Modern Applied Science*, 2015; 9(4):32–44.
16. Kuladzh, T.V., Murtazaev, S.I., Taimaskhanov, K.E., Aliiev, S.A., Mintsae, M.S. Professor M. D. Kargopolov's matrix formula-an effective tool to find the cost of construction products. *Indian Journal of Science and Technology*, 2015; 8(29)
17. Komokhov P.G. Shagina, N.N. Modified cement concrete, its structure and properties. *Cement*. 2002; 1-2: 43-46. (In Russ)

Сведения об авторах:

Муртазаев Сайд-Альви Юсупович, доктор технических наук, профессор, проректор по инвестиционной деятельности и имущественному комплексу; заведующий кафедрой «Технология строительного производства»; murtazaev@gstou.ru

Шейна Светлана Георгиевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Городское строительство и хозяйство», rgsu-gsh@mail.ru

Сайдумов Магомед Саламувич, кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе; saidumov_m@mail.ru

Муртазаев Имран Саид-Альвинович, ассистент; s.murtazaev@mail.ru

Information about authors:

Said-Alvi Yu.Murtazaev, Dr. Sci. (Eng), Prof., Vice-Rector for Investment Activities and Property Complex; Head of the Department of Construction Technology; s.murtazaev@mail.ru

Svetlana G. Sheina, Dr. Sci. (Eng), Prof., Head of the Department of Urban Development and Economy, rgsu-gsh@mail.ru

Magomed S. Saidumov, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Vice-Rector for Research; saidumov_m@mail.ru

Imran S.-A. Murtazaev, assistant; s.murtazaev@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 05.10.2023.

Одобрена после рецензирования / Reviced 28.10.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 28.10.2023.