

DOI: 10.12737/article\_59cd0c582d6879.33827530

Стельмах С.А., канд. техн. наук, доц.,  
Щербань Е.М., канд. техн. наук, ст. преп.,  
Сердюков К.В., магистрант,  
Пестриков М.М., магистрант,  
Яновская А.В., студент  
Донской государственный технический университет

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИМЕНЯЕМОГО КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

au-geen@mail.ru

Статья посвящена проблеме неоднородности физико-механических свойств центрифугированного бетона по толщине стенки кольцевого сечения изделия. Одним из путей решения данной проблемы является управление фактором заполнителей, оказывающим влияние на свойства бетона изделий и конструкций, работающих на осевое сжатие. Авторами проанализирована научно-техническая литература, касающаяся этого вопроса. Проведено экспериментальное исследование влияния фракционного состава гранитного щебня на прочностные характеристики бетона центрифугированных изделий. Установлено, что процентное соотношение фракций применяемого гранитного щебня фракция<sub>5-10</sub> / фракция<sub>5-20</sub> = 50/50 при прочих равных условиях оказывает наилучшее влияние на призмную прочность тяжелого бетона. Полученные результаты будут применены в последующих экспериментальных исследованиях авторов, направленных на выявление факторов, влияющих на качество бетона центрифугированных изделий и связанных с характеристиками заполнителей.

**Ключевые слова:** центрифугированный бетон, осевое сжатие, изделие кольцевого сечения, фракция заполнителя, процентное соотношение фракций заполнителя, призмная прочность.

**Введение.** Центрифугированные железобетонные конструкции находят широкое применение в промышленном, энергетическом, транспортном, гидромелиоративном и коммунальном строительстве. По своим технико-экономическим показателям они в ряде случаев превосходят изделия, изготовленные по другой технологии.

В настоящее время наиболее перспективно использование центрифугированных конструкций при строительстве контактной сети энергоснабжения железных дорог (конические опоры контактной сети и автоблокировки с предварительным напряжением проволочной арматуры) и воздушных линий электропередачи (конические и цилиндрические стойки опор с предварительно напряженной стержневой арматурой).

Значительный опыт производства и эксплуатации центрифугированных опор в России и за рубежом свидетельствует об их достаточной эксплуатационной надежности, чему способствовали многочисленные научно-исследовательские и проектные работы в направлении совершенствования конструкции опор и технологии их изготовления.

Однако практика эксплуатации этих весьма ответственных изделий дает множество примеров их преждевременного выхода из строя.

Наряду с производственными дефектами одной из основных причин недостаточной долговечности является неоднородность физико-механических свойств центрифугированного бетона по толщине стенки кольцевого сечения изделия. Технологические приемы борьбы с этим недостатком центрифугированного бетона сложны и неэффективны. Повышение эксплуатационной надежности предварительно напряженных железобетонных конструкций возможно путем учета структурной неоднородности бетона в расчетах прочности, деформативности и трещиностойкости железобетонных изделий кольцевого сечения [4].

Целью проведения исследований авторов является выявление влияния фактора заполнителей на свойства бетона изделий и конструкций, работающих на осевое сжатие.

Авторами был проведен анализ некоторой научно-технической литературы, касающейся этой проблемы.

Исследованиями В.Г. Пашковского [9, 10] доказана возможность повышения качества центрифугированного бетона за счет регулирования свойств используемых материалов. Так, количество трещин, зарождающихся в бетоне при передаче усилий предварительного напряжения,

можно уменьшить примерно в 2 раза уменьшением размера заполнителя (до оптимального) и улучшением сцепления с цементным камнем.

В ряде работ других авторов [7, 8, 11–16] показано, что применяя смесь зерен заполнителя с различной средней плотностью, можно при соответствующих скоростях центрифугирования добиваться их равномерного и желательного распределения по сечению изделия, так как неравномерность распределения этих компонентов по сечению бетонного элемента оказывает существенное влияние на колебания его физико-механических свойств.

Если часть зерен плотного заполнителя в бетоне заменить определенным количеством пористых фракций, то при центрифугировании такой бетонной смеси будет неизбежно происходить направленное перемещение относительно друг друга плотных и пористых частиц и компонентов цементного теста. Подавляющая часть пористых частиц, имеющих более низкую плотность, будет выжиматься во внутренний слой бетонного кольца и формировать слой облегченного бетона с улучшенными физико-механическими свойствами, выполняя при этом многоцелевые функции как при становлении структуры бетонного камня, так и при его эксплуатации в конструкции.

Г.И. Горчаков, А.М. Подвальный, Б. Хенк, Ю.В. Осетинский, рассматривая структурный элемент бетона в виде зерна и оболочка, показали, что напряжение на поверхности контакта ядра и оболочки зависят от соотношения модулей упругости заполнителя и цементного камня. С увеличением модуля упругости заполнителя структурные напряжения в системе повышаются. Замена части плотных зерен заполнителя пористыми приведет к снижению напряженного состояния в бетонном композите, а при центробежном уплотнении бетонной смеси – к более рациональному распределению заполнителя по сечению изделия.

Зерна пористого заполнителя должны выполнять свою демпфирующую роль и в центрифугированном бетоне. Во внешнем слое бетонного кольца, оставаясь как случайно захваченные, они будут снижать жесткость сложившейся структуры бетона. Во внутренних же слоях их роль будет проявляться не только в повышении прочности, но и в его стойкости к температурно-влажностным воздействиями. Указанный характер распределения пористых частиц по толщине стенки кольца подтверждается микроскопическим анализом шлифов из центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем.

Важнейшими характеристиками, обеспечивающими эффективность введения пористых заполнителей в состав центробежно уплотняемой

бетонной смеси, являются зерновой состав, хорошо развитая поверхность и достаточная прочность зерна с открытой пористостью и, наконец, доступность используемого материала [5].

Регулируя содержание, гранулометрический состав и упругопластические свойства добавки пористого материала, можно управлять структурообразованием и свойствами центрифугированного бетона, получая при этом новый вид бетонов с комбинированным заполнителем [6, 12].

Баташев В.М., Ахвердов И.Н. отмечают неоднородность деформативных свойств бетона по толщине стенки кольцевого сечения, следует ожидать, что повышение однородности структуры бетона с комбинированным заполнителем должно привести к выравниванию деформативных свойств и повышению трещиностойкости материала.

Повышение прочности центрифугированного бетона за счет замены части плотного заполнителя эквивалентным объемом пористого позволяет получать высокопрочные центрифугированные бетоны на обычных сырьевых материалах при умеренных расходах цемента. Увеличение водопотребности бетонных смесей при использовании мелких плотных песков может быть с успехом компенсировано при их обогащении пористыми, а регулирование внутреннего водоотделения за счет явления самовакуумирования позволяет уменьшить негативное влияние недостаточного водоотделения при центрифугировании. За счет уменьшения внутреннего водоотделения может быть улучшен контакт зерна плотного заполнителя с цементным тестом даже при наличии на его поверхности пылеватых частиц.

Между тем, можно предположить, что с ростом прочности центрифугированных бетонов с добавками пористого заполнителя должны возрастать их модуль упругости, границы микротрещинообразования, предельная деформативность и трещиностойкость. Все это может благоприятно отразиться не только на повышении несущей способности центрифугированных изделий, но и на их жесткости и трещиностойкости, позволив тем самым исключить дополнительное армирование конструкций, не снижая при этом их эксплуатационной надежности [5].

**Основная часть.** В научно-исследовательской лаборатории Академии строительства и архитектуры Донского государственного технического университета авторами были проведены исследования прочностных свойств образцов-балочек из тяжелого бетона, изготовленного с применением щебня из гранита, производимого в Воронежской области, и песков месторождений Ростовской области, предназначенного для изготовления изделий кольцевого сечения методом

центрифугирования.

Известно, что, учитывая специфику центрифугированных изделий и конструкций из тяжелого бетона, для их изготовления, как правило, применяют фракцию крупного заполнителя 5–20. Данная фракция, в свою очередь, включает в себя фракции 5–10 и 10–20. Исходя из проведенного анализа литературных и практических данных, по мнению авторов, процентное соотношение этих фракций может оказать влияние на прочностные характеристики готового изделия.

В условиях лаборатории были определены

некоторые физико-механические характеристики применяемого в экспериментах щебня. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» по методикам ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

### Результаты испытаний зернового состава щебня

Показатели	Фракционный состав		
	Фракция 20–40	Фракция 10–20	Фракция 5–10
Частный остаток $a_i$ (г)	1039	7470	2245
Частный остаток $a_i$ (%)	9,5	68,3	20,5
Полный остаток $A_i$ (%)	9,5	77,8	98,3

Таблица 2

### Физико-механические показатели щебня

Наименование показателей	Фактические показатели	
Содержание пылеватых и глинистых частиц, % по массе	0,96	
Содержание глины в комках, % по массе	Фракция 5–10	-
	Фракция 10–20	-
Содержание зерен пластинчатой (лепестчатой) и игольчатой форм	Фракция 5–10	43,0
	Фракция 10–20	41,0
Дробимость, % по массе	Фракция 5–10	10,2
	Фракция 10–20	9,9

Испытания заформованных образцов-балочек производились по методикам ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента

Пуассона».

Полученные результаты представлены в графическом виде на рис. 1–3.

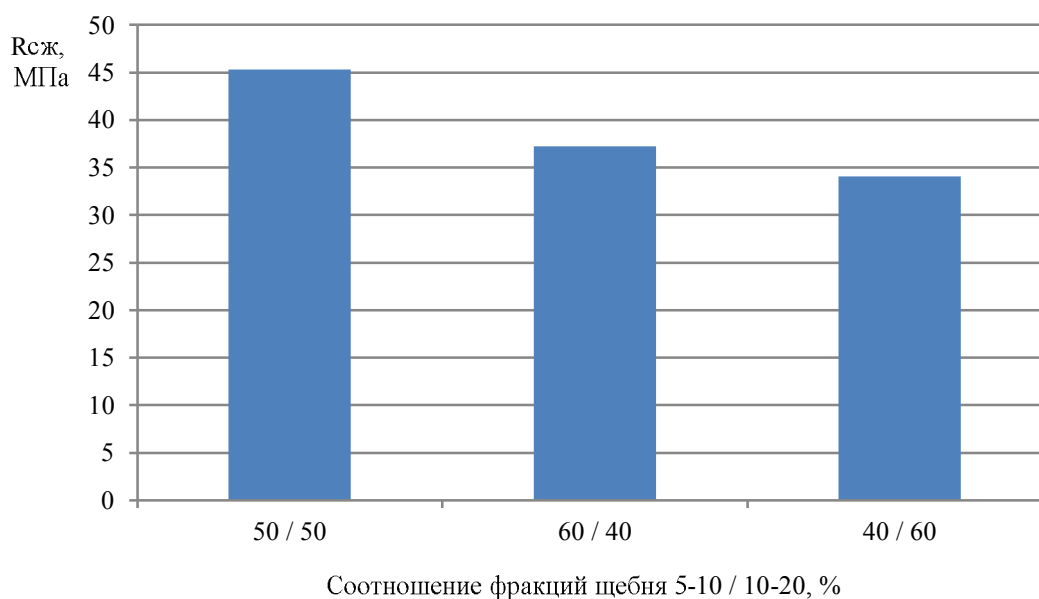


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии от процентного соотношения фракций щебня при использовании песка из отсевов дробления

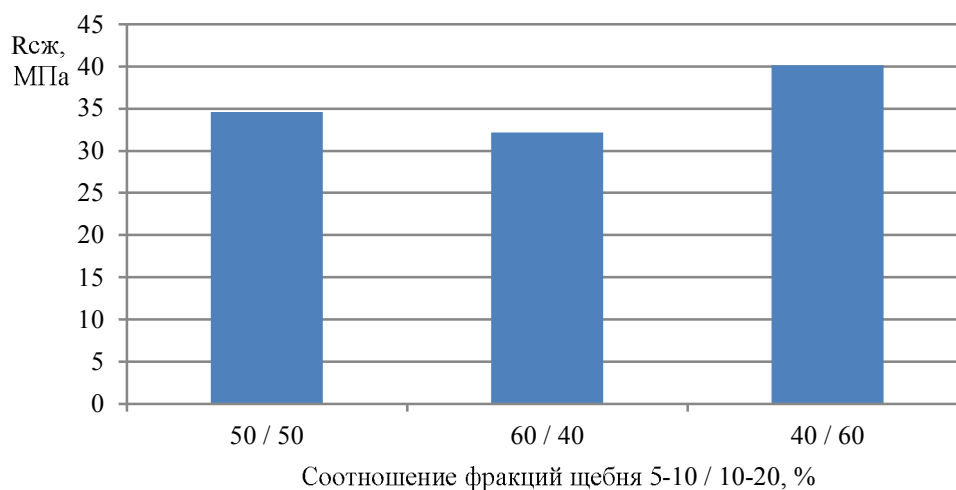


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии от процентного соотношения фракции щебня при использовании карьерного песка

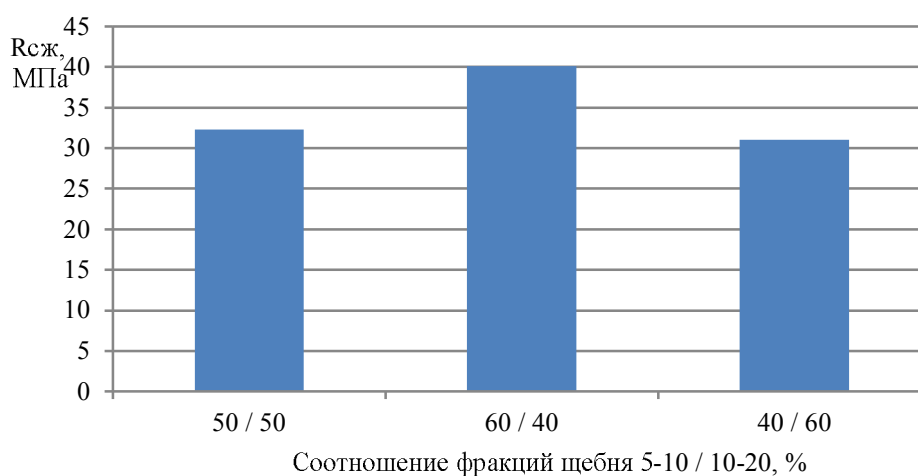


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии от процентного соотношения фракций щебня при использовании речного песка

**Вывод.** Из полученных зависимостей можно сделать вывод, что процентное соотношение фракций применяемого гранитного щебня  $\Phi_{р5-10} / \Phi_{р5-20} = 50/50$  при прочих равных условиях оказывает наилучшее влияние на призменную прочность тяжелого бетона. Эти результаты будут применены в последующих экспериментальных исследованиях авторов, направленных на выявление факторов, влияющих на качество бетона центрифугированных изделий и связанных с характеристиками заполнителей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».
2. ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».
3. ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».
4. Раджан Сувал Свойства центрифугированного бетона и совершенствование проектирования центрифугированных железобетонных стоек опор ЛЭП: дис.... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1997. 267 с.
5. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длиномерных центрифугированных конструкций: дис.... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
6. Мчедлов-Петросян О.П. Современные взгляды на процессы твердения вяжущих / В сб.: Новое в технологии и технике производства цемента // Тр. ин-та Южгипроцемент. Вып. 4, М.: Стройиздат, 1964. С. 144-153
7. Невский В.А. Прогнозирование стойкости бетона при чередующихся воздействиях внешней среды с учетом его структуры и деформативных свойств: Автореф. дис. докт. техн. наук. М., 1984. 42 с.
8. Невский В.А., Федоренко Ю.В., Лысенко Е.И., Петров В.П., Шурыгин В.П. Комбинированные заполнители в центрифугированном бетоне

// Транспортное строительство. 1983. №7. С. 30–31.

9. Пашковский В.Г. Влияние температурного фактора на образование и развитие трещин в опорах КС // Транспортное строительство. 1964. №8. С. 45–46.

10. Михайлов Н. В., Пашковский В. Г. Проблема продольных трещин в центрифугированных опорах // Электрическое строительство. 1967. №2. С. 60–66.

11. Петров В.П., Лысенко Е.И., Ткаченко Г.А., Шурыгин В.П. Бетон с комбинированным заполнителем в производстве центрифугированных опор контактной сети // Транспортное строительство. 1983. №10. С. 32.

12. Петров В.П. Технология и свойства центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем для стоек опор контактной сети: дис... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1983. 175 с.

13. Руководство по изготовлению железобетонных центрифугированных стоек опор контактной сети и воздушных линий автоблокировки из бетонов с комбинированным заполнителем. М.: ЦНИИС, 1989. 35 с.

14. Ткаченко Г.А., Петров В.П., Романенко Е.Ю. Высокопрочный бетон с комбинированным заполнителем для центрифугированных опор

контактной сети // Тезисы докладов научно-технической конференции, М.: ЦНИИС, 1988. С. 37–38.

15. Авторское свидетельство 1004298 СССР. Бетонная смесь / В.П. Шурыгин, В.А. Невский, Г.А. Ткаченко, В.П. Петров, 1983.

16. Шурыгин В.П., Ткаченко Г.А., Петров В.П., Романенко Е.Ю. Повышение трещиностойкости центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем // Транспортное строительство. 1988. №8. С. 33–34.

17. Яновская А.В., Сердюков К.В., Стельмах С.А. Изучение влияния фактора заполнителя на характеристики центрифугированных железобетонных изделий и конструкций // НОВАЯ НАУКА: СТРАТЕГИИ И ВЕКТОРЫ РАЗВИТИЯ: Международное научное периодическое издание по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (Магнитогорск, 8 апр. 2017 Г.), Стерлитамак: АМИ, 2017. №4. 3. 3. С. 214–216.

18. Pooya Alae, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements // Engineering Structures. 2017. Vol. 145. P. 305–321.

19. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. P. 97–108.

#### *Информация об авторах*

**Стельмах Сергей Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики.

E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Донской государственный технический университет.

Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

**Щербань Евгений Михайлович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики.

E-mail: au-geen@mail.ru

Донской государственный технический университет.

Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

**Сердюков Константин Васильевич**, магистрант.

E-mail: serdyukovkv@mail.ru

Донской государственный технический университет.

Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

**Пестриков Михаил Михайлович**, магистрант.

E-mail: pestrmikhail94@mail.ru

Донской государственный технический университет.

Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

**Яновская Алина Вадимовна**, студент кафедры технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики.

E-mail: kgweny@gmail.com

Донской государственный технический университет.

Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

---

*Поступила в шоне 2017 г.*

© Стельмах С.А., Щербань Е.М., Сердюков К.В., Пестриков М.М., Яновская А.В., 2017

---

**Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Serdyukov K.V., Pestrikov M.M., Yanovskaya A.V.**  
**INFLUENCE OF SOME CHARACTERISTICS OF THE APPLIED COARSE AGGREGATE  
ON THE PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE, DESIGNED FOR MANUFACTURING  
CENTRIFUGGLE PRODUCTS AND CONSTRUCTIONS**

*The article is devoted to the problem of heterogeneity of physical and mechanical properties of centrifuged concrete along the wall thickness of the annular section product. One of the ways to solve this problem is to control the factor of fillers, which affects the properties of concrete products and structures working on axial compression. The authors analyzed scientific and technical literature concerning this issue. An experimental study of the influence of the fractional composition of granite gravel on the strength characteristics of concrete of centrifuged products is carried out. It is established that the percentage of fractions of the granite gravel used fraction 5-10 / fraction 5-20 = 50/50, with other things being equal, has the best effect on the prismatic strength of heavy concrete. The results obtained will be applied in subsequent experimental studies by the authors aimed at identifying factors that affect the quality of concrete of centrifuged products and associated with the characteristics of aggregates.*

**Keywords:** *centrifuged concrete, axial compression, annular section product, aggregate fraction, percentage of aggregate fractions, prismatic strength.*

---

*Information about the authors*

**Stel'makh Sergey Anatol'evich**, PhD, Assistant professor.

E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Don State Technical University.

Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Shcherban' Evgeniy Mikhaylovich**, PhD, Senior lecturer.

E-mail: au-geen@mail.ru

Don State Technical University.

Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Serdyukov Konstantin Vasil'evich**, graduate student.

E-mail: serdyukovkv@mail.ru

Don State Technical University.

Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Pestrikov Mikhail Mikhaylovich**, graduate student.

E-mail: pestrmikhail94@mail.ru

Don State Technical University.

Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Yanovskaya Alina Vadimovna**, student.

E-mail: kgweny@gmail.com

Don State Technical University.

Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

---

*Received in June 2017*

© Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Serdyukov K.V., Pestrikov M.M., Yanovskaya A.V., 2017