

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №4, Том 11 / 2019, No 4, Vol 11 <https://esj.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/34SAVN419.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чернильник А.А., Джавадов Д.Д., Гереханов Х.В., Коржаева Е.Э., Доценко Н.А., Яновская А.В. Зависимость прочности при сжатии центрифугированного бетона класса В30 от вида и характеристик применяемого крупного заполнителя // Вестник Евразийской науки, 2019 №4, <https://esj.today/PDF/34SAVN419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Chernil'nik A.A., Dzhavadov D.D., Gerehanov H.V., Korzhaeva E.E., Dotsenko N.A., Yanovskaya A.V. (2019). The dependence of the compressive strength of centrifuged concrete class B30 on the type and characteristics of the used coarse aggregate. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(11). Available at: <https://esj.today/PDF/34SAVN419.pdf> (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Чернильник Андрей Александрович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: chernila_a@mail.ru

Джавадов Джавид Джаваншир Оглы

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: d_djavid@yandex.ru

Гереханов Харун Вахрсолтанович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: gerehanov_hv@mail.ru

Коржаева Екатерина Эдуардовна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: hett3351@gmail.com

Доценко Наталья Александровна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студент
E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru

Яновская Алина Вадимовна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: kgweny@gmail.com

**Зависимость прочности при сжатии
центрифугированного бетона класса В30 от вида
и характеристик применяемого крупного заполнителя**

Аннотация. При центрифугировании, используя зерна заполнителя с различной средней плотностью, можно при соответствующих скоростях вращения и длительности центрифугирования перемещать заполнитель в том или ином направлении. Принудительное перемещение заполнителя может явиться основой направленного формирования структуры бетонного камня и создавать конгломерат с более однородным распределением зерен по средней плотности и размеру фракции.

Целесообразно использовать одновременно как плотные, так и пористые заполнители. Использование в качестве заполнителей смеси плотных и пористых частиц повлечет за собой изменение свойств бетонного камня, таких как прочность, плотность и стойкость. Целью статьи являлось повышение прочностных характеристик центрифугированного бетона за счет подбора рационального сочетания заполнителей в бетоне. Для достижения поставленной цели: проведен обзор и анализ научно-технической литературы, посвященной вопросам исследований способов повышения эффективности в области технологии железобетонных конструкций кольцевого сечения; экспериментально обоснованы способы комбинирования заполнителей при центрифугировании; получены опытные образцы, характеризующиеся, по сравнению с контрольными, улучшенными физико-механическими и конструктивными свойствами. Экспериментальные исследования выполнены авторами с помощью известных стандартных и специальных методов с использованием аттестованных средств измерительной техники и испытательного оборудования. В статье приведено сравнение вариантов с применением: плотного заполнителя одного вида; комбинации двух видов плотного заполнителя; комбинации плотного и пористого заполнителей. Оценивались такие показатели как плотность, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества.

Вклад авторов.

Чернильник Андрей Александрович – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Доценко Наталья Александровна – автор осуществил написание статьи.

Яновская Алина Вадимовна – автор осуществил написание статьи.

Коржаева Екатерина Эдуардовна – автор собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Джавадов Джавид Джаваншир Оглы – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Гереханов Харун Вахрсолтанович – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Ключевые слова: центрифугированный бетон; прочность; плотность; коэффициент конструктивного качества; заполнитель; гранит; известняк; песчаник; керамзит

До настоящего времени механические свойства центрифугированных бетонов изучены недостаточно, а методы определения его прочности нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Работы по изучению процессов формирования структуры бетона при центрифугировании были начаты под руководством Ю.Я. Штайермана еще в 30-е годы. Бетонная смесь рассматривалась как тяжелая жидкость, в которой цементное тесто, раздвигая частицы отощителя, заполняло пустоты между ними. При этом зерна отощителя

представлялись как бы взвешенными в цементном тесте. При движении бетонной смеси эти компоненты перемещаются с разной скоростью, что предопределяет возникновение эффекта гидродинамического давления теста на частицы отошителя [1].

В.П. Петровым объяснено явление сепарации составляющих бетонной смеси при центрифугировании, используя следующие допущения:

- цементное тесто является вязкой изотропной средой, ламинарно-обтекающей дрейфующие в нем частицы заполнителя;
- зерна заполнителя представляют собой шары, имеющие объем и плотность, идентичные объему и плотности реальных частиц;
- сила тяжести, действующая на частицу заполнителя, мала по сравнению с центробежной силой инерции;
- при движении частицы заполнителя не соприкасаются друг с другом.

С учетом этих допущений можно принять, что на частицу заполнителя, находящегося в цементном тесте, действуют три силы:

- центробежная сила инерции (F_H), направленная вдоль радиуса от оси вращения;
- сила вязкого трения (F_T), направленная против вектора скорости движения частиц заполнителя в цементном тесте;
- выталкивающая сила (F_B) аналогичная действию архимедовой силы в покоящейся жидкости.

Величина центробежной силы инерции (F_H) в соответствии с принципом Даламбера определяется по формуле:

$$F_H = m\omega^2 R = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho_3 \omega^2 R \quad (1)$$

где r – эквивалентный радиус частицы заполнителя, м;

ρ_3 – средняя плотность частицы заполнителя, кг/м³;

ω – угловая скорость вращения центрифуги, с⁻¹;

R – расстояние от центра частицы заполнителя до оси вращения, м.

Используя закон Стокса для шара, можно рассчитать силу вязкого трения:

$$F_T = G\pi\eta r V \quad (2)$$

где η – структурная вязкость бетонной смеси, Па·с;

V – скорость движения частицы заполнителя относительно цементного теста, м/с.

По аналогии с законом Архимеда, выталкивающая сила (F_B) выражается как:

$$F_B = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rho_{\text{цт}} \omega^2 R \quad (3)$$

где $\rho_{\text{цт}}$ – истинная плотность цементного теста, кг/м³.

Так как ускорение движения частиц относительно цементного теста весьма мало, то можно записать:

$$F_U - F_B = F_T \quad (4)$$

Подставив в выражение (4) данные уравнений (1), (2) и (3) и произведя необходимые алгебраические преобразования, получим выражение скорости дрейфа частицы заполнителя в цементном тесте:

$$V = \frac{2 \cdot \omega^2 R (\rho_z - \rho_{цт}) \cdot r^2}{g\eta} \quad (5)$$

Поскольку формула (5) получена с учетом допущений, не все из которых соответствуют явлениям, происходящим при центробежном уплотнении бетона, то получить точное количественное описание процесса, естественно, не представляется возможным.

Вместе с тем формула (5) может с достаточной достоверностью описать картину относительного распределения частиц заполнителя в вязкопластичной жидкости в зависимости от средней плотности и вязкости среды, средней плотности заполнителя и угловой скорости вращения центрифуги.

Если зерна заполнителя тяжелее цементного теста, ($\rho_z > \rho_{цт}$) то частицы будут двигаться от оси вращения к внешней поверхности кольца. При $\rho_z > \rho_{цт}$ зерна заполнителя будут стремиться перемещаться к оси вращения, то есть «всплывать» к внутренней поверхности кольца. Так как скорость дрейфа частиц пропорциональна их квадрату радиуса, то первыми внутренней и внешней поверхности должны достигнуть наиболее крупные частицы заполнителя. С увеличением скорости вращения центрифуги будет расти и скорость дрейфа частиц, так как V пропорциональна ω^2 . Процесс центрифугирования неизбежно будет сопровождаться отжатием воды из бетонной смеси, что повлечет за собой увеличение ее вязкости и, как следствие, снижение скорости миграции зерен заполнителя. Так как отжатие жидкой фазы начинается с внешней поверхности уплотняемого бетона, то в первом приближении изменение вязкости смеси относительно центра оси можно прокомментировать функцией вида:

$$\eta = \frac{\eta_0 R}{R_{min}} \quad (6)$$

где η_0 – вязкость среды центрифугирования;

R_{min} – расстояние от оси до внутренней границы изделия.

С учетом выражения (6) уравнение (5) можно записать в виде:

$$V = \frac{2\omega^2 (\rho_z - \rho_{цт}) \cdot r^2 R_{min}}{g\eta_0} \quad (7)$$

Имея в своем распоряжении все необходимые характеристики, уравнение (7) можно представить в виде:

$$t_u = \frac{gh\eta_0}{2\omega^2 R_{min} (\rho_z - \rho_{цт}) \cdot r^2} \quad (8)$$

где t_u – время центрифугирования, с;

h – глубина погружения используемых фракций заполнителей, м.

Из формулы (8) следует, что, используя зерна заполнителя с различной средней плотностью, можно при соответствующих скоростях вращения и длительности центрифугирования перемещать заполнитель том или ином направлении.

Принудительное перемещение заполнителя может явиться основой направленного формирования структуры бетонного камня и создавать конгломерат с более однородным распределением зерен по средней плотности и размеру фракции.

Для выбора рационального заполнителя в данной бетонной смеси формулу (8) целесообразно представить в виде:

$$\rho_3 = \frac{gh\eta_0}{2\omega^2 R_{min} t_u r^2} + \rho_{UT} \quad (9)$$

Равномерное распределение зерен заполнителя по фракциям будет достигаться при различных величинах ρ_3 . Это позволяет предположить, что целесообразно использовать одновременно как плотные, так и пористые заполнители.

Использование в качестве заполнителей смеси плотных и пористых частиц повлечет за собой изменение свойств бетонного камня, таких как прочность, плотность и стойкость. Применение пористого заполнителя для центрифугированного бетона проверено практическим опытом производства изделий и конструкций. На основании работ советских ученых, развивших структурную теорию бетонных конгломератов: Г.И. Горчакова, И.А. Рыбьева, И.А. Иванова, Р.Л. Маиляна, А.М. Подвального, Ю.В. Осетинского следует, что применение пористых заполнителей может привести к улучшению структурно-механических характеристик конгломерата [2–7].

Целью авторов являлось повышение прочностных характеристик центрифугированного бетона за счет подбора рационального сочетания заполнителей в бетоне.

Для достижения поставленной цели нами решались следующие задачи:

- провести обзор и анализ научно-технической литературы, посвященной вопросам исследований способов повышения эффективности в области технологии железобетонных конструкций кольцевого сечения;
- экспериментально обосновать способы комбинирования заполнителей при центрифугировании, на основе чего получить опытные образцы, характеризующиеся, по сравнению с контрольными, улучшенными физико-механическими и конструктивными свойствами.

Экспериментальные исследования выполнены с помощью известных стандартных и специальных методов с использованием аттестованных средств измерительной техники и испытательного оборудования [8–12].

В наших экспериментах на примере бетона класса В30 исследованы и сравнены варианты применения различных крупных заполнителей.

Приведено сравнение вариантов с применением:

- плотного заполнителя одного вида;
- комбинации двух видов плотного заполнителя;
- комбинации плотного и пористого заполнителей.

Оценивались такие показатели как плотность, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества.

Результаты экспериментов приведены в таблицах 1–3 и на рисунках 1–3.

Таблица 1

**Результаты испытаний образцов бетона,
изготовленных на одном виде крупного плотного заполнителя**

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Гранит	Г	2415	38,2	15,8
2	Известняк	И	2405	35,3	14,7
3	Песчаник	П	2233	33,3	14,9

Составлено авторами

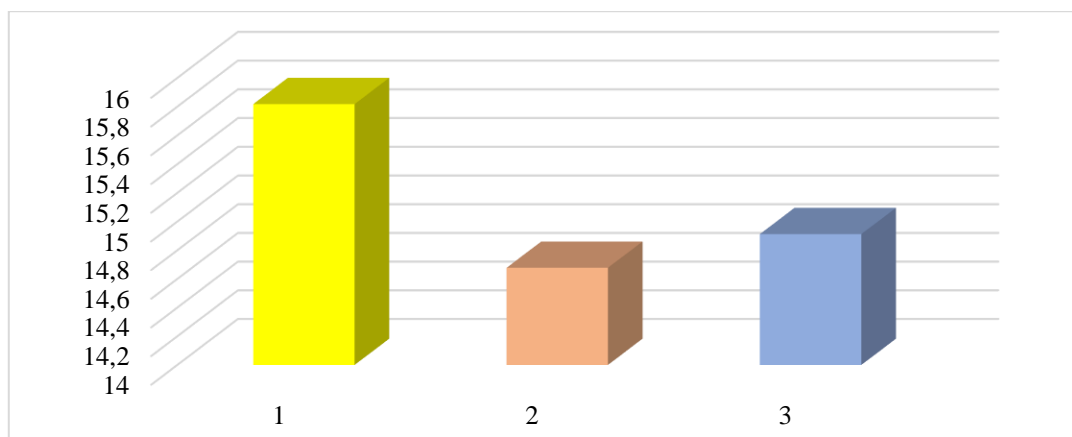


Рисунок 1. Результаты испытаний образцов бетона, изготовленных на одном виде крупного плотного заполнителя (составлено авторами)

Таблица 2

**Результаты испытаний образцов бетона, изготовленных
на комбинированном крупном плотном заполнителе двух видов**

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Гранит + известняк	ГИ	2390	37,5	15,7
2	Гранит + песчаник	ГП	2302	35,5	15,4
3	Известняк + песчаник	ИП	2335	32,4	13,9

Составлено авторами

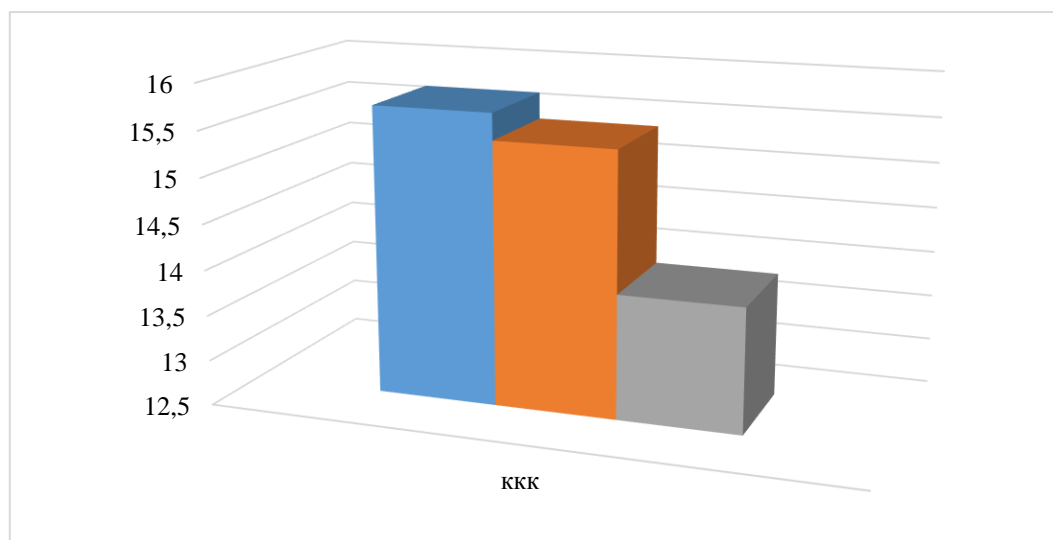


Рисунок 2. Результаты испытаний образцов бетона, изготовленных на комбинированном крупном плотном заполнителе двух видов (составлено авторами)

Таблица 3

Результаты испытаний образцов бетона, изготовленных на комбинированном крупном плотном и пористом заполнителях

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Гранит + керамзит	ГК	2370	35,2	14,9
2	Известняк + керамзит	ИК	2205	32,3	14,7
3	Песчаник + керамзит	ПК	2113	30,9	14,6

Составлено авторами

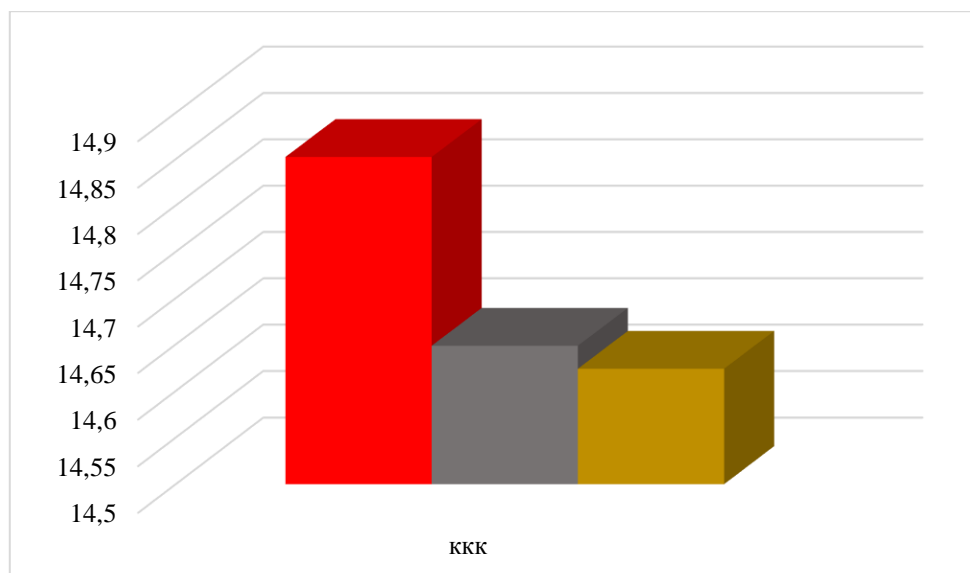


Рисунок 3. Результаты испытаний образцов бетона, изготовленных на комбинированном крупном плотном и пористом заполнителях (составлено авторами)

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы. Фактор крупного заполнителя оказывает влияние на физико-механические и конструктивные характеристики центрифугированного бетона опытных образцов. При сравнении различных видов заполнителей наивысшие прочностные показатели демонстрирует по абсолютной прочности гранитный щебень, однако при комплексной оценке, по коэффициенту конструктивного качества, сочетание «гранит-известняк» демонстрирует сопоставимый с ним результат, что свидетельствует о целесообразности применения такого сочетания в бетоне, так как ведет к повышению эффективности производства центрифугированных железобетонных изделий и конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штайерман Ю.Я. Центрофугированный бетон // Закавказский научно-исследовательский институт им. В.И. Ленина, Тифлис: Техника да Шрома, 1933. 106 с.
2. 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.
3. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций: дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариативности при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №4 URL: esj.today/PDF/07SAVN418.pdf.
9. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Совершенствование расчетных рекомендаций по подбору состава бетона центрифугированных конструкций // Вестник Евразийской науки, 2018, №3 URL: esj.today/PDF/63SAVN318.pdf.
10. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Осадченко С.А. Анализ зарубежного опыта развития технологии виброцентрифугированных строительных конструкций и изделий из бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №3 URL: esj.today/PDF/58SAVN318.pdf.
11. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нажуев М.П., Яновская А.В., Осадченко С.А. Механические свойства виброцентрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем и волокнистой добавкой // Инженерный вестник Дона, 2018, № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5047.
12. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Оптимизация параметров центрифугированных изделий кольцевого сечения на стадии уплотнения // Инженерный вестник Дона, 2018, № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5123.

Chernil'nik Andrey Aleksandrovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: chernila_a@mail.ru

Dzhavadov Dzhavid Dzhavanshir Ogly

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: d_djavid@yandex.ru

Gerekhanov Harun Vahrsoltanovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: gerehanov_hv@mail.ru

Korzhaeva Ekaterina Eduardovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: hett3351@gmail.com

Dotsenko Natal'ya Aleksandrovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru

Yanovskaya Alina Vadimovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: kgweny@gmail.com

The dependence of the compressive strength of centrifuged concrete class B30 on the type and characteristics of the used coarse aggregate

Abstract. During centrifugation, using aggregate grains with different average densities, it is possible to move the aggregate in one direction or another at appropriate rotational speeds and centrifugation durations. Forced movement of the aggregate can be the basis for the directional formation of the structure of concrete stone and create a conglomerate with a more uniform distribution of grains in average density and size of the fraction.

It is advisable to use both dense and porous aggregates at the same time. The use of dense and porous particles as a filler mixture will entail a change in the properties of concrete stone, such as strength, density and resistance. The aim of the article was to increase the strength characteristics of centrifuged concrete by selecting a rational combination of aggregates in concrete. To achieve this goal: a review and analysis of scientific and technical literature on the research of ways to improve efficiency in the field of technology of reinforced concrete structures of the circular section; experimentally substantiated methods of combining aggregates during centrifugation; prototypes were obtained, characterized, in comparison with the control, improved physicomachanical and structural properties. Experimental studies were carried out by the authors using well-known standard and special methods using certified measuring instruments and test equipment. The article compares the options with the use of: dense aggregate of one type; a combination of two types of dense aggregate; combinations of dense and porous aggregates. We evaluated such indicators as density, compressive strength, and structural quality factor.

Keywords: centrifuged concrete; strength; density; structural quality factor; filler; granite; limestone; sandstone; expanded clay