

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

2019, №3, Том 11 / 2019, No 3, Vol 11 <https://esj.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/29SAVN319.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Стельмах С.А., Щербань Е.М., Мозговая А.С., Скуч М.С. Исследование и сравнительный анализ вариантов комбинирования крупных заполнителей различных видов для тяжелого бетона вибрированных железобетонных изделий и конструкций // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/29SAVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Mozgovaya A.S., Skuch M.S. (2019). Research and comparative analysis of options for combining large aggregates of various types for heavy concrete of vibrated reinforced concrete products and structures. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/29SAVN319.pdf> (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Стельмах Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»
Кандидат технических наук
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Щербань Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»
Кандидат технических наук
E-mail: au-geen@mail.ru

Мозговая Александра Сергеевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: alx_mozgovaya96@mail.ru

Скуч Максим Сергеевич

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

**Исследование и сравнительный анализ вариантов
комбинирования крупных заполнителей различных видов
для тяжелого бетона вибрированных железобетонных
изделий и конструкций**

Аннотация. Успешное решение задач развития строительства требует повышения эффективности производства строительных изделий и конструкций. Одним из важных путей в этом направлении является снижение материалоемкости и веса железобетонных конструкций, являющихся основной современного строительства. Учитывая, что вибрированные железобетонные изделия и конструкции составляют весьма значительную часть общего объема, вопросы их рационального производства являются весьма актуальными. В соответствии с поставленными целью и задачами исследования, основным рецептурным

варьируемым фактором, влияние которого на эффективность технологического процесса и качество производимой строительной продукции определялось, это фактор крупного заполнителя. В работе приняты и исследованы 3 вида щебня: из гранита; из известняка; из песчаника. На первом этапе исследования определено влияние вида крупного заполнителя из плотных пород на прочность при сжатии вибрированного бетона, а также на коэффициент конструктивного качества (ККК). На втором этапе проведено исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных пород для бетона вибрированных железобетонных изделий и конструкций. В результате анализа полученных результатов экспериментальных исследований сделаны следующие выводы. Во-первых, установлено, что вид технологии оказывает существенное влияние на структурно-физические, физико-механические и конструктивные характеристики бетона опытных образцов вибрированных железобетонных колонн. Во-вторых, установлено, что при комбинировании различных видов заполнителей наивысшие прочностные показатели демонстрируют гранитный щебень и известняк, однако при комплексной оценке, по коэффициенту конструктивного качества, эти же сочетания демонстрируют и наибольшую плотность.

Вклад авторов.

Стельмах Сергей Анатольевич – собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Щербань Евгений Михайлович – автор осуществил написание статьи, одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Мозговая Александра Сергеевна – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Скуч Максим Сергеевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Ключевые слова: вибрированный бетон; комбинированный заполнитель; гранит; известняк; песчаник; коэффициент конструктивного качества

Успешное решение задач развития строительства требует повышения эффективности производства строительных изделий и конструкций.

Одним из важных путей в этом направлении является снижение материалоемкости и веса железобетонных конструкций, являющихся основой современного строительства.

Учитывая, что вибрированные железобетонные изделия и конструкции составляют весьма значительную часть общего объема, вопросы их рационального производства являются весьма актуальными.

В соответствии с поставленной целью и задачами исследования, основным рецептурным варьируемым фактором, влияние которого на эффективность технологического

процесса и качество производимой строительной продукции определялось, является фактор крупного заполнителя [1–3].

Ряд исследователей, таких как В.Н. Соломатов, И.М. Грушко, А.Е. Шейкин, считают, что совершенствования структуры тяжелого бетона и улучшения его свойств можно достигнуть введением в состав бетонной смеси низко модульных органических и минеральных добавок, имеющих модуль упругости на 1–2 порядка ниже, чем у основных заполнителей. При этом роль заполнителя (зерен шлаковой пемзы, керамзитового песка и прочих) в формировании структуры бетона и его напряженно-деформированного состояния расширяется. На стадии твердения они регулируют внутреннее водоотделение, проявляя установленный М.З. Симоновым эффект самовакуумирования. По данным микроскопического и рентгеноструктурного анализа, в таких бетонах наблюдается повышенная плотность цементного камня не только в зоне контакта его с пористыми зернами, но и с плотными.

Исследованиями В.В. Бабкова доказано, что низко модульные частицы снижают уровень внутренних растягивающих напряжений, вызванных неизбежными процессами контракции и усадки твердеющего цементного теста.

На стадиях эксплуатации бетона в конструкции роль пористых зерен расширяется. За счет релаксации они снижают уровень внутренних растягивающих напряжений, возникающих при загрузке конструктивного элемента. Кроме того, по утверждению Комохова П.Г., низко модульные компоненты являются центрами дезориентации микротрещинообразования при кратковременных и длительных воздействиях внешней нагрузки. Встречаясь на пути магистральных трещин, частицы пористого заполнителя гасят энергию разрушения материала и разделяют магистральные трещины на сеть новых, для дальнейшего развития которых требуется дополнительный расход энергии, способной преодолеть энергетический барьер сопротивления разрушению на границе «цементный камень – пористое зерно». Снижение уровня внутреннего напряженного состояния в условиях эксплуатации сказывается положительно и на морозостойкости бетона.

По данным Комохова П.Г., при введении в бетон зерен вспученного вермикулита не только увеличивалась прочность бетона, но и возрастала на 1–2 марки его морозостойкость. В работах Бабкова В.В. и других исследователей Уфимского нефтяного института приведены данные о бетонах с повышенной ударной прочностью, достигнутой за счет введения в состав плотных заполнителей определенной доли керамзита или керамзитового песка. Особенно высокой ударной прочностью и морозостойкостью отличались бетоны с добавками тонкомолотого керамзита. Аналогичный эффект был получен Шейкиным А.Е. при введении в состав дробленого цементного камня [4–7].

В исследованиях, выполненных под руководством Невского В.А., Петровым В.П. была проверена эффективность добавок в бетон дробленого керамзита М800, шлаковой пемзы, гранулированного доменного шлака, известняка-ракушечника. Установлено, что для образования слитной структуры бетона максимальный размер пористого зерна не должен превышать 10 мм, а его плотность должна исключать выброс зерна на внутреннюю поверхность изделия [8].

Установлено, что при всех условиях испарения влаги с поверхности относительные деформации внутренних и наружных слоев оказываются меньшими у бетонов с комбинированным заполнителем. С увеличением расхода цемента средняя величина угла поворота сечений образцов при высыхании через любые поверхности возрастает [9–11].

Этот процесс продолжается в течение 30–35 дней с начала высыхания, а затем постепенно затухает. При повторном увлажнении и высушивании деформации усадки для образцов всех серий и условий удаления влаги с их поверхности снижаются в 1,6–1,9 раза.

Анализ данных, полученных при испытании на морозостойкость, подтвердил повышенную сопротивляемость центрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем этим взаимодействиям, в первую очередь за счет стойкости внутренних слоев. К 200 циклам попеременного замораживания и оттаивания образцов внутренний слой у бетонов с рядовыми заполнителями почти полностью разрушился, тогда как у образцов из бетона с комбинированными заполнителями относительные деформации достигли лишь $39 \cdot 10^{-5}$ и на поверхности появилась сетка неглубоких трещин. Величина напряжений, возникающая между слоями бетона в процессе замораживания и оттаивания образцов у бетонов с комбинированным заполнителем, также оказывалась ниже. Таким образом, введение низкомолекулярных зерен шлаковой пемзы в состав заполнителей для центрифугированного бетона повышает трещиностойкость внутреннего слоя и предопределяет более равномерное деформирование слоев по сечению, снижая, тем самым, величину внутренних напряжений и повышая общую морозостойкость бетона [7; 8; 12].

Для исследований был принят портландцемент, физико-механические свойства которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства цемента

Наименование	Удельная поверхность, м ² /кг	Нормальная плотность, %	Сроки схватывания, час-мин.		Активность, МПа	
			начало	конец	R _{из}	R _{сж}
Портландцемент	365	25,5	1–05	3–15	5,9	51,5

Составлено авторами

В работе приняты и исследованы 3 вида щебня:

- из гранита;
- из известняка;
- из песчаника.

В ходе исследования применялся гранитный щебень Павловского месторождения, Воронежская область.

В таблице 2 приведены его основные характеристики.

Таблица 2

Характеристики гранитного щебня

№	Характеристика	Величина
1	Марка по дробимости	M1200
2	Насыпная плотность	1460 кг/м ³

Составлено авторами

Щебень из известняка в работе применялся из Жирновского карьера, г. Белая Калитва, Ростовская область, его основные характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики щебня из известняка

№	Характеристика	Величина
1	Марка по дробимости	M1200
2	Насыпная плотность	1340 кг/м ³

Составлено авторами

Щебень из песчаника в работе применялся из Федоровского месторождения, Красносулинский район, Ростовская область, его основные характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристики щебня из песчаника

№	Характеристика	Величина
1	Марка по дробимости	M1200
2	Насыпная плотность	1300 кг/м ³

Составлено авторами

Были запроектированы и заформованы в условиях лаборатории 3 экспериментальных состава:

- В20;
- В30;
- В40.

На первом этапе исследования определялось влияние вида крупного заполнителя из плотных горных пород на прочность при сжатии вибрированного бетона, а также на коэффициент конструктивного качества (ККК) – относительный показатель, отражающий соотношение между прочностью и плотностью бетона [13–15].

Результаты работ по первому этапу приведены в таблицах 5–7 и рисунках 1–3.

Таблица 5

Влияние вида крупного заполнителя из плотных горных пород на прочность бетона при сжатии на экспериментальном составе В20

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца бетона	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Щебень из гранита	Г	2292	28,3	1,234
2	Щебень из известняка	И	2348	25,1	1,068
3	Щебень из песчаника	П	2241	23,4	1,044

Составлено авторами

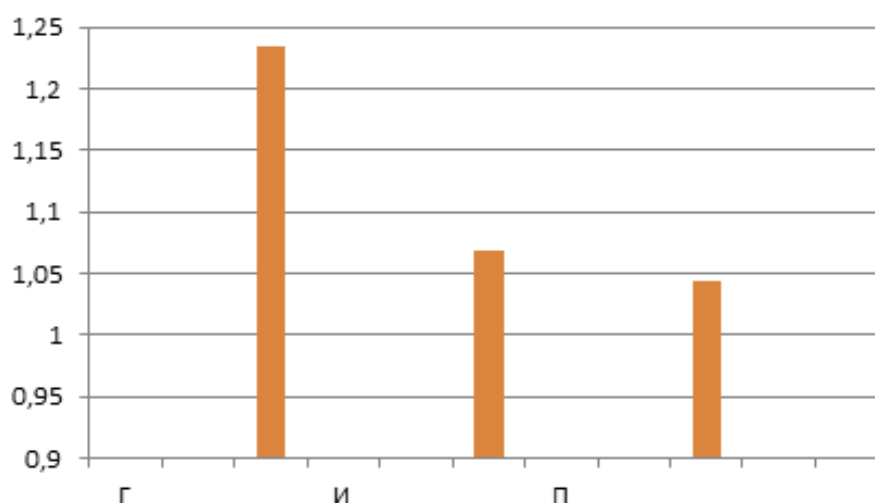


Рисунок 1. Влияние вида крупного заполнителя из плотных горных пород на коэффициент конструктивного качества на экспериментальном составе В20 (составлено авторами)

Таблица 6

Влияние вида крупного заполнителя из плотных горных пород на прочность бетона при сжатии на экспериментальном составе В30

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца бетона	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Щебень из гранита	Г	2350	38,3	1,629
2	Щебень из известняка	И	2433	35,2	1,446
3	Щебень из песчаника	П	2321	33,6	1,447

Составлено авторами

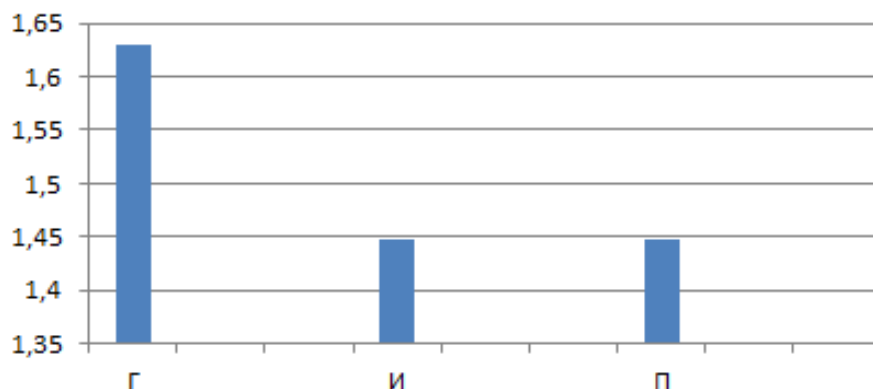


Рисунок 2. Влияние вида крупного заполнителя из плотных горных пород на коэффициент конструктивного качества на экспериментальном составе В30 (составлено авторами)

Таблица 7

Влияние вида крупного заполнителя из плотных горных пород на прочность бетона при сжатии на экспериментальном составе В40

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца бетона	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Щебень из гранита	Г	2370	51,3	2,164
2	Щебень из известняка	И	2405	48,4	2,012
3	Щебень из песчаника	П	2313	46,1	1,993

Составлено авторами

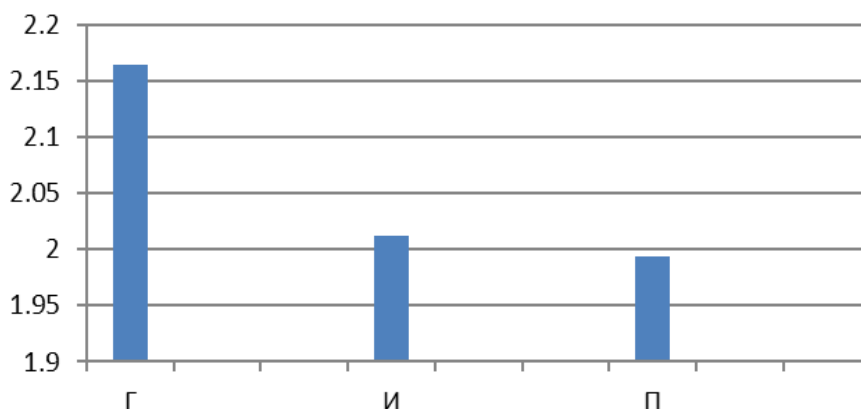


Рисунок 3. Влияние вида крупного заполнителя из плотных горных пород на коэффициент конструктивного качества на экспериментальном составе В40 (составлено авторами)

Далее, на втором этапе были проведены исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных горных пород для бетона вибрированных железобетонных изделий и конструкций.

Результаты работ по первому этапу приведены в таблицах 8–10 и рисунках 4–6.

Таблица 8

Исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных горных пород для вибрированного бетона на экспериментальном составе В20

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца бетона	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Щебень из гранита + щебень из известняка	ГИ	2320	27,6	1,189
2	Щебень из гранита + щебень из песчаника	ГП	2266	23,8	1,05
3	Щебень из известняка + щебень из песчаника	ИП	2295	22,3	0,971

Составлено авторами

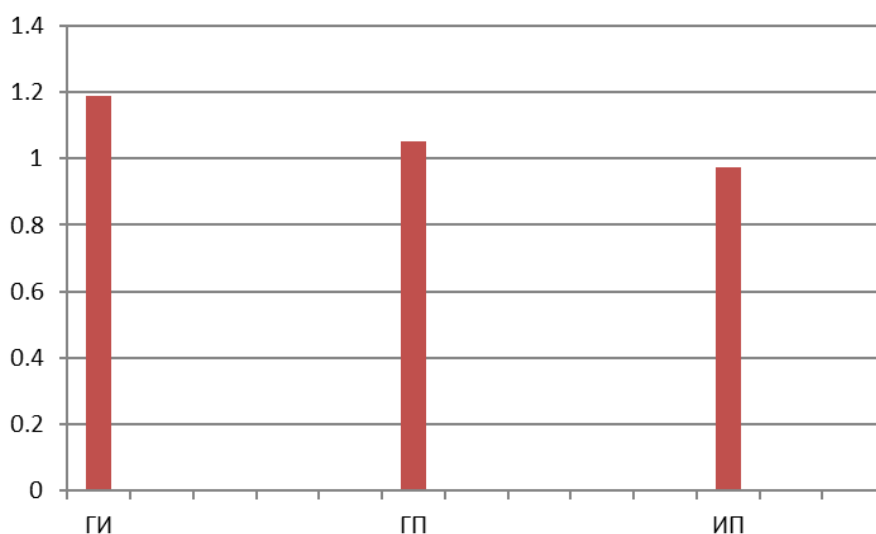


Рисунок 4. Исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных горных пород для вибрированного бетона на экспериментальном составе В20 (составлено авторами)

Таблица 9

Исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных горных пород для вибрированного бетона на экспериментальном составе В30

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца бетона	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Щебень из гранита + щебень из известняка	ГИ	2396	37,7	1,573
2	Щебень из гранита + щебень из песчаника	ГП	2341	34,1	1,456
3	Щебень из известняка + щебень из песчаника	ИП	2274	31,9	1,402

Составлено авторами

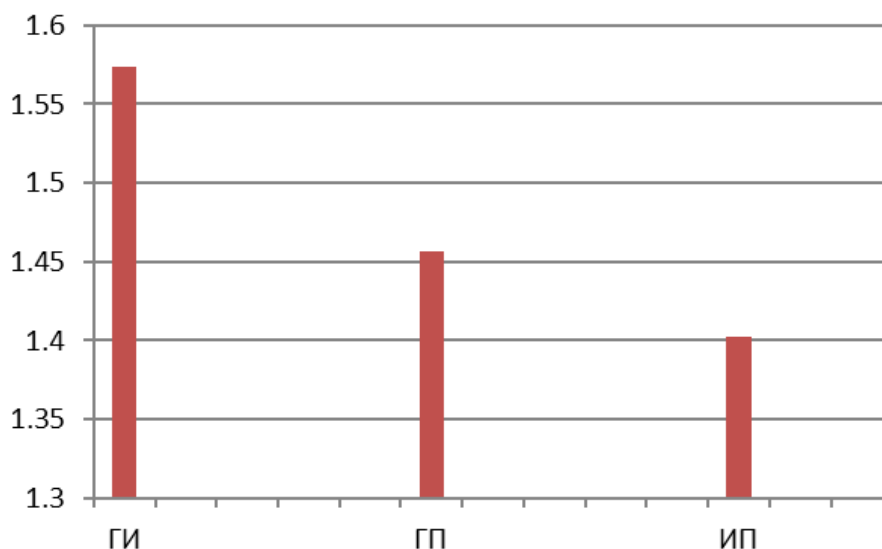


Рисунок 5. Исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных горных пород для вибрированного бетона на экспериментальном составе В30 (составлено авторами)

Таблица 10

Исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных горных пород для вибрированного бетона на экспериментальном составе В40

№ п/п	Вид заполнителя	Маркировка образца бетона	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа	ККК
1	Щебень из гранита + щебень из известняка	ГИ	2410	50,1	2,078
2	Щебень из гранита + щебень из песчаника	ГП	2364	46,2	1,954
3	Щебень из известняка + щебень из песчаника	ИП	2280	44,5	1,951

Составлено авторами

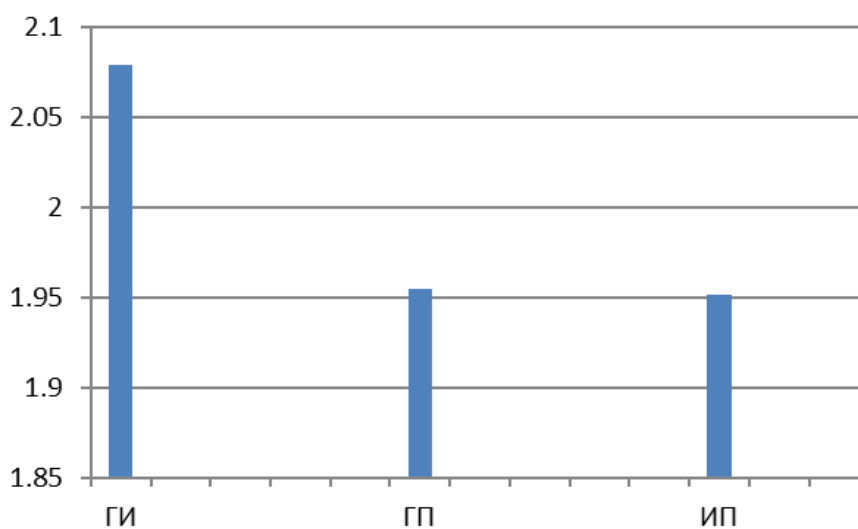


Рисунок 6. Исследование и сравнительный анализ эффективности вариантов комбинирования крупных заполнителей из различных плотных горных пород для вибрированного бетона на экспериментальном составе В40 (составлено авторами)

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы:

- вид технологии оказывает существенное влияние на структурно-физические, физико-механические и конструктивные характеристики бетона опытных образцов вибрированных железобетонных колонн;
- при комбинировании различных видов заполнителей наивысшие прочностные показатели демонстрируют гранитный щебень и известняк, однако при комплексной оценке, по коэффициенту конструктивного качества, эти же сочетания демонстрируют и наибольшую плотность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор состава центрифугированного бетона на тяжелых заполнителях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017, №10. С. 52–57.
2. 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.
3. 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.
4. Шейкин А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня. М.: Стройиздат, 1974. 192 с.
5. Комохов П.Г. Механико-технологические основы торможения процессов разрушения бетонов ускоренного твердения: дисс. ... докт. техн. наук. Л., 1978. 247 с.
6. Бабков В.В., Попов А.В., Мохов В.Н., и др. Бетоны повышенной ударной стойкости на основе демпфирующих компонентов // Бетон и железобетон. № 2. 1985. С. 10–11.
7. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций: дисс. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
8. Петров В.П. Технология и свойства центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем для стоек опор контактной сети: дисс... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1983. 175 с.
9. Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Муртазаева Т.С.-А., Хубаев М.С.-М. Высококачественные модифицированные бетоны на основе минеральных добавок и суперпластификаторов различной природы // Инновации и инвестиции. № 8. 2015. С. 163–166.
10. Бычков М.В., Удодов С.А. Деформационные свойства легкого конструкционного самоуплотняющегося бетона // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. № 2 (29). 2013. С. 71–75.

11. Корянова Ю.И., Несветаев Г.В. Влияние условий твердения бетона с двухстадийным расширением на деформативно-прочностные показатели // Наукоедение. Том 7, № 5(30), 2015 URL: naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf.
12. Борисенко Ю.Г., Солдатов А.А., Бондарев Б.А. Повышение качества и эксплуатационных свойств дорожных асфальтобетонов за счет применения в их составах высокодисперсных отсевов дробления керамзита // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. Вып. № 4 (24). 2011. С. 103–109.
13. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Маилян Л.Р., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Изучение характера механизма дрейфа компонентов бетонной смеси при производстве центрифугированных колонн вариатропной структуры на примере физической модели движения заполнителей // Строительство и архитектура (2017), Том 5, Выпуск 4 (17). С. 229–233.
14. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки, 2018, №5 URL: esj.today/PDF/51SAVN518.pdf.
15. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Стельмах С.А. Изучение опыта регулирования свойств строительных изделий и конструкций путем направленного формирования их вариатропной структуры // Инженерный вестник Дона, 2017, № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313.

Stel'makh Sergey Anatol'evich

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

Shcherban' Evgeniy Mikhaylovich

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

Mozgovaya Aleksandra Sergeevna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: alx_mozgovaya96@mail.ru

Skuch Maksim Sergeevich

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

Research and comparative analysis of options for combining large aggregates of various types for heavy concrete of vibrated reinforced concrete products and structures

Abstract. Successful solution of problems of development of construction requires an increase in the efficiency of production of building products and structures. One of the important ways in this direction is to reduce the material consumption and weight of reinforced concrete structures, which are the main modern construction. Considering that vibrated reinforced concrete products and structures constitute a very significant part of the total volume, the issues of their rational production are highly relevant. In accordance with the goal and objectives of the study, the main prescription variable factor, whose influence on the efficiency of the technological process and the quality of the construction products produced, is a large aggregate factor. In the work 3 types of rubble are taken and investigated: from granite; from limestone; from sandstone. At the first stage of the study, the influence of the coarse aggregate type of dense rocks on the compressive strength of vibrated concrete, as well as on the coefficient of structural quality (CQF), was determined. At the second stage, a study and comparative analysis of the effectiveness of the combination of large aggregates of various dense rocks for concrete, vibrated concrete products and structures. As a result of the analysis of the obtained experimental results, the following conclusions were made. First, it has been established that the type of technology has a significant impact on the structural-physical, physico-mechanical and structural characteristics of concrete from prototypes of vibrated reinforced concrete columns. Secondly, it was found that when combining various types of aggregates, the highest strength indicators demonstrate crushed granite and limestone, however, with a comprehensive assessment, in terms of structural quality, these same combinations also demonstrate the greatest density.

Keywords: vibrated concrete; combined aggregate; granite; limestone; sandstone; structural quality factor