

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42

<sup>1</sup>Чернильник А.А., <sup>2</sup>\*Ельшаева Д.М., <sup>2</sup>Жеребцов Ю.В., <sup>2</sup>Доценко Н.А., <sup>2</sup>Самофалова М.С.<sup>1</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения

\*E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РЕЦЕПТУРЫ ОБЛЕГЧЕННЫХ БЕТОНОВ НА СМЕСИ КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ, ПРИРОДНОГО ЩЕБНЯ И ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА

**Аннотация.** В условиях плотной городской застройки и разнообразия инженерно-геологических условий применение бетонов с комбинированным заполнителем рационально подобранного состава позволит решить существующую проблему снижения массы железобетонных конструкций зданий и сооружений и сохранения при этом требуемых прочности и деформативности. В данной работе проведены исследования по выбору рациональной рецептуры облегченного бетона на основе керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного доменного шлака посредством варьирования объёмного содержания пористого крупного заполнителя и объёмного содержания мелкого заполнителя по отношению к смеси. Всего изготовлено и испытано 9 серий опытных образцов и 1 серия контрольных образцов. Одна серия образцов включает в себя три куба с размерами 10×10×10 см. Все образцы испытаны по показателям плотность и прочность при сжатии определен коэффициент конструктивного качества. По результатам исследования установлено, что введение в состав тяжелого бетона керамзитового гравия вместо части плотного крупного заполнителя и замена мелкого плотного заполнителя на гранулированный доменный шлак приводит к повышению коэффициента конструктивного качества, то есть снижению прочности при сжатии бетона компенсируется еще более существенным снижением плотности материала, а значит снижением массы конструкций. Прирост коэффициента конструктивного качества бетона на основе керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного доменного шлака в сравнении с контрольным составом составил 15,6 %.

**Ключевые слова:** облегченный бетон, коэффициент конструктивного качества, плотность, прочность, объёмное содержание, плотный заполнитель, пористый заполнитель.

**Введение.** В современных условиях строительства особую роль приобретают конструкции из облегченного бетона. Плотная застройка городов и разнообразие инженерно-геологических условий приводят к необходимости возведения зданий и сооружений со сниженной массой. При этом с увеличением этажности, а также созданием новых большепролетных и высотных зданий и сооружений с повышенными требованиями к прочности и деформативности применяемых строительных материалов, изделий и конструкций, встаёт острая проблема нехватки достаточно прочных и при этом облегченных изделий.

В сравнении с тяжелыми бетонами бетоны на легких пористых заполнителях (керамзитовый гравий, керамзитовый щебень, шлаковая пемза, шлаковый щебень, доменный гранулированный шлак) обладают рядом преимуществ, а именно низкой плотностью и теплопроводностью, более высоким сцеплением цементно-песчаного раствора и заполнителя и высокой трещиностойкостью [1–3]. В связи с дефицитом природных заполнителей в ряде регионов применение искусственных пористых заполнителей в экономическом и экологическом плане является более выгодным [4–6].

Основными недостатками легких бетонов в сравнении с тяжелыми являются худшие физико-механические показатели, а именно низкий модуль упругости, повышенные усадка и ползучесть [7, 8].

Применение комбинированных (смеси пористых и плотных) заполнителей для бетона является одним из перспективных направлений повышения их эффективности. Известно, что полная замена плотного заполнителя пористым приводит к потере прочности [9–12]. При необходимости снижения плотности бетона и дефиците плотных заполнителей используют бетоны с частичной заменой плотного заполнителя пористым. Занимая промежуточное положение между тяжелыми и легкими бетонами, бетоны на смешанных заполнителях мало отличаются от первых по прочности на сжатие и одновременно обладают положительными качествами вторых: высокой трещиностойкостью и прочностью на растяжение, выносливостью и долговечностью [13–16].

Таким образом, разработка оптимальной рецептуры, проектных решений, технологии возведения и заводского производства изделий и конструкций из облегченного бетона является актуальным направлением.

Целью настоящего исследования стало получение облегченного бетона на комбинации разноплотных заполнителей в рациональном сочетании по предварительно выбранной рецептуре, обоснованной теоретически и экспериментально.

### Методы и материалы.

При проведении исследований был использован бездобавочный портландцемент марки ПЦ 400 Д0 производства ООО «Топкинский цемент», физико-механические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

### Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 400 Д0

Наименование свойства	Значение
Тонкость помола, проход через сито № 008, %	95,8
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	2988,5
Нормальная густота цементного теста, %	26,5
Сроки схватывания, час: мин	
- начало	0: 48
- конец	4: 00
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	42,5

В качестве крупного плотного заполнителя применялся щебень природный из кварцитовых пород, а в качестве крупного пористого заполнителя применялся керамзитовый гравий. Физико-

механические характеристики плотного и пористого крупного заполнителя представлены в таблице 2.

Таблица 2

### Физико-механические характеристики крупного заполнителя

Наименование	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность по ГОСТ 9758, МПа	Дробимость по ГОСТ 8269, %	Плотность зерен, г/см <sup>3</sup>	Пустотность, %
Керамзитовый гравий фракции 5–20 мм	500	1,7	–	0,85	48
Щебень фракции 5–20 мм	1380	–	12,1	2,57	47

В качестве мелкого плотного заполнителя применялся кварцевый песок, а в качестве мелкого пористого заполнителя применялся грану-

лированный шлак. Физико-механические характеристики мелкого плотного и пористого заполнителей представлены в таблице 3.

Таблица 3

### Физико-механические характеристики мелкого заполнителя

Наименование	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль крупности	Плотность зерен, г/см <sup>3</sup>	Пустотность, %
Гранулированный шлак	1021	3,8	1,95	50
Песок	1480	1,4	2,61	43,3

Приготовление бетонной смеси осуществлялось в лабораторном бетоносмесителе принудительного действия БЛ-10. Для изготовления кубов были применены стандартные формы марки 2ФК-100. Уплотнение бетонной смеси в процессе формования образцов осуществлялось на лабораторной виброплощадке СМЖ-539-220А с механическим креплением, время вибрирования в среднем составляло 70 секунд. Для уплотнения легкобетонных смесей использовался пригруз. На следующие сутки после формования образцы были распалублены и помещены в камеру нормального твердения на 28 суток до набора проектной прочности.

Также для исследований нами было применено: испытательное оборудование (пресс гидравлический ИП-1000), средства измерения (линейка измерительная металлическая, весы лабораторные, прибор для измерения отклонений от плоскости НПЛ-1, прибор для измерения отклонений от перпендикулярности НПП-1).

Всего изготовлено и испытано 9 серий опытных образцов и 1 серия контрольных образцов. Одна серия образцов включает в себя три куба с размерами 10×10×10 см.

Испытания образцов на сжатие проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [17–20].

**Результаты и их обсуждение.** В качестве контрольного состава запроектирован тяжелый бетон на плотных заполнителях класса В30 с требуемой маркой по удобоукладываемости П1

(осадка конуса 1-4 см). Полученные в результате расчетов параметры состава бетонной смеси отражены в таблице 4.

Таблица 4

Параметры состава бетонной смеси

Наименование параметра	Цемент, кг/м <sup>3</sup>	Вода, л/м <sup>3</sup>	Щебень, кг/м <sup>3</sup>	Песок, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{bc}$ , кг/м <sup>3</sup>
Значение параметра	378	203	1198	721	2500

Выбор оптимальных объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей осуществлялся посредством проведения расчетов методом математического планирования эксперимента с использованием программы «MathCAD».

В качестве функций были приняты изменяющиеся в зависимости от различных объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей следующие показатели: плотность, прочность на сжатие и коэффициент конструктивного качества.

За функцию отклика были приняты параметры:

- $R_{b.cub}(V_{кр}; V_{гш})$  – прочность на сжатие, МПа;
- $\rho_{bc}(V_{кр}; V_{гш})$  – плотность облегченного бетона, кг/м<sup>3</sup>;
- К.К.К. ( $V_{кр}; V_{гш}$ ) – коэффициент конструктивного качества,  $\times 10^3$  МПа·м<sup>3</sup>/кг.

В качестве же аргументов принимались объёмные содержания крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей в абсолютных показателях с различными уровнями варьирования. Значения факторов варьирования представлены в таблице 5

Таблица 5

Значения факторов варьирования ПФЭ 2<sup>к</sup>

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. измерения	Уровни фактора		
				-1	0	+1
1	$V_{шп}$	Объёмное содержание крупного пористого заполнителя	%	40	50	60
2	$V_{гш}$	Объёмное содержание мелкого пористого заполнителя по отношению к смеси крупных заполнителей	%	30	35	40

Результаты экспериментальных исследований влияния объёмного содержания крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к

смеси крупных заполнителей на плотность, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества облегченного бетона представлены в таблице 6 и на рисунках 1-3.

Таблица 6

**Результаты экспериментальных исследований влияния объёмного содержания пористого крупного и мелкого заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей на плотность, прочность на сжатие и коэффициент конструктивного качества облегченного бетона**

Номер опыта	Объёмное содержание пористого крупного заполнителя, %	Объёмное содержание мелкого заполнителя по отношению к смеси крупных заполнителей, %	Плотность облегченного бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент качества облегченного бетона, (МПа·м <sup>3</sup> /кг)·10 <sup>3</sup>
1	40	30	2054	38,1	18,5
2	60	30	1827	34,8	19,0
3	40	40	1997	37,9	19,0
4	60	40	1816	36,1	19,9
5	40	35	2011	38,3	19,0
6	60	35	1811	35,1	19,4
7	50	30	1958	37,0	18,9
8	50	40	1961	36,3	18,5
9	50	35	1970	36,8	18,7

По результатам исследований методом наименьших квадратов были получены базовые

уравнения регрессии, которые представлены в виде полиномов второй степени:

$$\sigma_{\text{бс}}(V_{\text{кг}}; V_{\text{гш}}) = 1934 - 101 \cdot V_{\text{кг}} - 10 \cdot V_{\text{гш}} + 11,5 \cdot V_{\text{кг}} \cdot V_{\text{гш}} - 43,7 \cdot V_{\text{кг}}^2 + 4,8 \cdot V_{\text{гш}}^2 \quad (1)$$

$$R_{b.cub}(V_{\text{кг}}; V_{\text{гш}}) = 37 - 1,38 \cdot V_{\text{кг}} + 0,067 \cdot V_{\text{гш}} + 0,37 \cdot V_{\text{кг}} \cdot V_{\text{гш}} - 0,016 \cdot V_{\text{кг}}^2 - 0,033 \cdot V_{\text{гш}}^2 \quad (2)$$

$$K. K. K. (V_{\text{кг}}; V_{\text{гш}}) = 19 + 0,3 \cdot V_{\text{кг}} + 0,16 \cdot V_{\text{гш}} + 0,1 \cdot V_{\text{кг}} \cdot V_{\text{гш}} + 0,43 \cdot V_{\text{кг}}^2 - 0,067 \cdot V_{\text{гш}}^2 \quad (3)$$

При расчете состава облегченного бетона в каждом опыте значения расхода заполнителей (таблица 7) рассчитывался по формулам:

$$M = r \cdot \sum V \quad (4)$$

$$K = \sum V - M \quad (5)$$

$$K_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot K \quad (6)$$

$$K_{\text{щ}} = V_{\text{щ}} \cdot K \quad (7)$$

где  $M$  – расход мелкого заполнителя,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $r$  – доля песка по объему в смеси заполнителей;  $\sum V$  – сумма пофракционных объемов (общий расход заполнителей на  $1 \text{ м}^3$  бетона) – принимается по результатам исследований свойств смесей заполнителей,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $K$  – суммарный расход крупных заполнителей,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $K_{\text{кг}}$  – расход керамзитового гравия,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $K_{\text{щ}}$  – расход щебня,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $V_{\text{кг}}$  – доля керамзитового гравия;  $V_{\text{щ}}$  – доля щебня.

Таблица 7

**Результаты экспериментальных исследований влияния объёмного содержания пористого крупного и мелкого заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей на плотность, прочность на сжатие и коэффициент конструктивного качества облегченного бетона**

Номер опыта	Сумма пофракционных объемов, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Расход гранулированного шлака, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Расход керамзитового гравия, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Расход щебня, $\text{м}^3/\text{м}^3$
1	1,448	0,434	0,405	0,608
2	1,418	0,425	0,596	0,397
3	1,432	0,573	0,344	0,516
4	1,408	0,563	0,507	0,338
5	1,435	0,574	0,344	0,517
6	1,421	0,497	0,554	0,369
7	1,428	0,500	0,464	0,464
8	1,420	0,426	0,497	0,497
9	1,431	0,572	0,429	0,429

При приготовлении опытных замесов бетонных смесей на комбинированном заполнителе расход цемента оставался неизменным, а расход

воды корректировался до получения требуемой подвижности бетонной смеси.

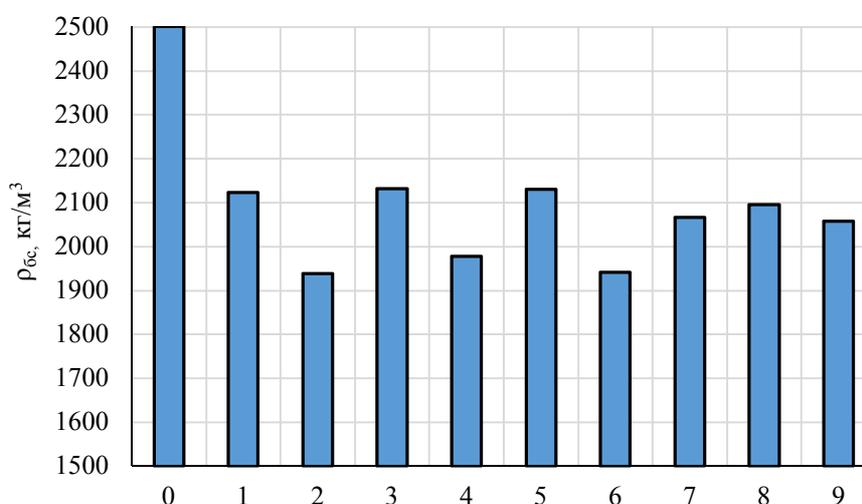


Рис. 1. Изменение плотности облегченного бетона в зависимости от объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей (К – контрольный состав; 1, 2...9 – опытные составы)

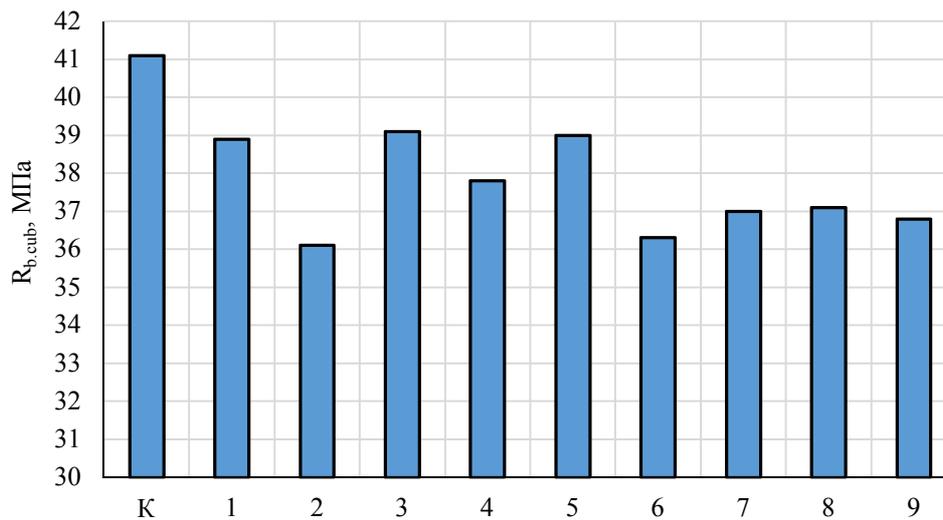


Рис. 2. Изменение прочности при сжатии облегчённого бетона в зависимости от объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей (К – контрольный состав; 1, 2...9 – опытные составы)

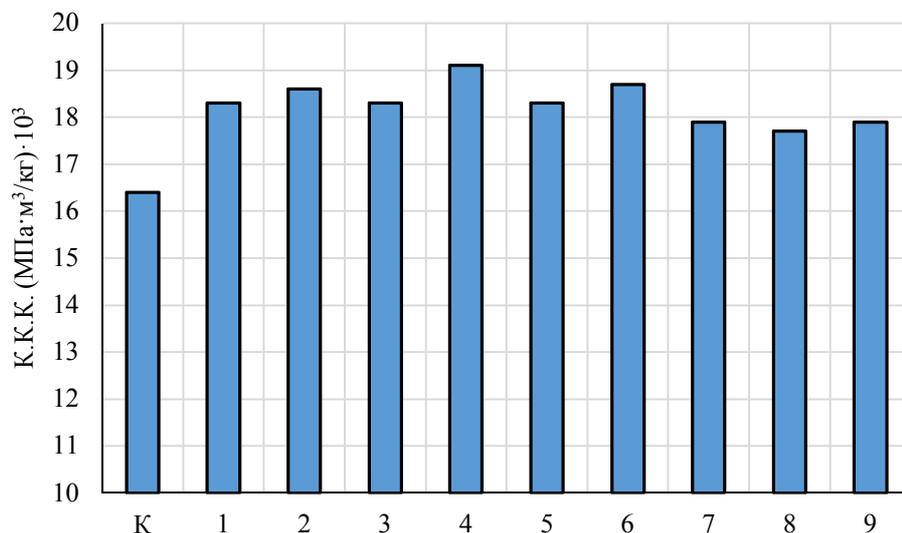


Рис. 3. Изменение коэффициента конструктивного качества облегчённого бетона в зависимости от объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей (К – контрольный состав; 1, 2...9 – опытные составы)

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что введение в состав тяжелого бетона керамзитового гравия вместо части плотного крупного заполнителя и замена мелкого плотного заполнителя на гранулированный доменный шлак приводят к повышению коэффициента конструктивного качества, то есть снижение прочности при сжатии бетона компенсируется еще более существенным снижением плотности материала, а значит снижением массы.

Максимальное повышение коэффициента конструктивного качества бетона на основе керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного доменного шлака наблюдается при замене части крупного плотного заполнителя керамзитового гравия в количестве 60 % от общего объёма крупного заполнителя в составе бетонной

смеси и объёмного содержания мелкого заполнителя по отношению к смеси крупных заполнителей в количестве 40 %.

**Вывод.** В результате проведённых исследований нами сделаны следующие выводы. Технология комбинирования заполнителей, то есть замена части плотного заполнителя, в нашем случае щебня из кварцитов пород и кварцевого песка, на пористые, а именно на керамзитовый гравий фракции 10-20 мм и доменный гранулированный шлак, позволяет добиться существенного снижения плотности бетона за счет уменьшения его массы в среднем на 25–30 %. Тем самым повышается коэффициент конструктивного качества таких бетонов.

Прирост коэффициента конструктивного качества бетона на основе керамзитового гравия,

природного щебня и гранулированного доменного шлака в сравнении с контрольным составом составил максимум 15,6 %.

Тем самым, применяя комплексное рецептурное решение, включающее в себя замену части плотных крупного и мелкого заполнителей на пористые, существенно снижается вес конструкции, обеспечивается ресурс- и материалосбережение, а также энергосбережение при производстве и изготовлении таких изделий и конструкций, повышаются прочностные характеристики и достигается положительный эффект при строительстве зданий и сооружений в целом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Астраханкина О.А. Конструкционные облегченные бетоны на комбинированных заполнителях. дисс. канд. техн. наук. СПб, 1999. 174 с.
2. Абдыкалыков Т.А., Джамаева А.М. Облегченные мелкозернистые бетоны на основе композиционных вяжущих веществ // *Материаловедение*. 2017. № 2(22). С. 20–23.
3. Бугаевский С.А. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2015. № 69. С. 79–90.
4. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.
5. Коянкин А.А. Облегченное сборно-монолитное перекрытие // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 6(105). С. 636–641.
6. Беляев А.В. К расчету трехслойных железобетонных плит перекрытий // *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 1-2(34) [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2815> (дата обращения: 08.07.2021).
7. Кокорина Д.В., Сумарокова Л.С., Капустин Ф.Л. Подбор состава бетона на безобжиговом зольном гравии // *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники*. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2017. С. 521–523.
8. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Джумабаев М.Д., Толеуов Т.Ж. Получение мелкозернистого арболитобетона на основе твердых фруктовых отходов // *Научное обозрение*. 2016. № 14. С. 107–115.
9. Гаврилов А.В., Алоян К.Д., Доброхотов В.Б., Придатко Ю.М. Совершенствование технологии получения облегченных бетонов // *Шестьдесят восьмая всеросс. науч.-технич. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции*. Ярославский государственный технический университет. 2015. С. 765–767.
10. Щербинина Е.О., Панова В.Ф., Панов С.А. Бетон для монолитного домостроения с применением вторичноминеральных ресурсов (ВМР) // *Материалы и технологии XXI века: сборник статей XIV Междунар. науч.-технич. конф. Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний»*. 2016. С. 247–250.
11. Маилян Д.Р., Меретуков З.А., Беляев А.В., Умаров Р.Г. Особенности деформационного расчета трехслойных железобетонных плитных конструкций // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 10. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6641> (дата обращения: 08.07.2021).
12. Лесовик В.С., Мосьпан А.В. Конструкционно-теплоизоляционные прессованные силикатные изделия на гранулированных заполнителях // *Известия КГАСУ*. 2012. № 3(21). С. 144–150.
13. Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete // *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 94(2). Pp. 81–92.
14. Begich Y.E., Klyuev S.V., Jos V.A., Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers. // *Magazine of Civil Engineering*. 2020. № 97(5). 9702. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (дата обращения: 09.07.2021).
15. Vieira G.B., Petrichenko M.R., Musorina T.A., Zaborova D.D. Behavior of a hollowed-wood ventilated façade during temperature changes // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. № 3(79). Pp. 103–111.
16. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Петров А.Н., Безгоднов И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В., Чилин И.А. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочных сталефибробетонов из самоуплотняющихся смесей // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: Сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук*. Издательство АСВ. 2018. С. 237–246.

17. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Shuyskiy A.I., Nazhnev M.P. Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete // Materials Science Forum. 2018. Т. 931. Рр. 502–507.

18. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Zholobova O.A. Prescription and Technological Aspects of Manufacturing High-Quality Centrifuged Products and Structures from Heavy Concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Т. 463. 022056. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022056> (дата обращения: 09.07.2021).

19. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Маилян Л.Р., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Изучение ха-

рактера механизма дрейфа компонентов бетонной смеси при производстве центрифугированных колонн вариатропной структуры на примере физической модели движения заполнителей // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5. № 4. С. 229–233.

20. 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. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf](http://www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf) (дата обращения: 09.07.2021).

#### Информация об авторах

**Чернильник Андрей Александрович**, аспирант. E-mail: [chernila\\_a@mail.ru](mailto:chernila_a@mail.ru). Ростовский государственный университет путей сообщения. Россия, 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.

**Ельшаева Диана Михайловна**, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: [diana.elshaeva@yandex.ru](mailto:diana.elshaeva@yandex.ru). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

**Жеребцов Юрий Владимирович**, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: [yuri.zherebtsov@gmail.com](mailto:yuri.zherebtsov@gmail.com). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

**Доценко Наталья Александровна**, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: [natalya\\_1998\\_dotsenko@mail.ru](mailto:natalya_1998_dotsenko@mail.ru). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

**Самофалова Мария Сергеевна**, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: [mary.ss17@yandex.ru](mailto:mary.ss17@yandex.ru). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 19.07.2021 г.

© Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С., 2021

<sup>1</sup>*Chernil'nik A.A.*, <sup>2\*</sup>*El'shaeva D.M.*, <sup>2</sup>*Zherebtsov Yu.V.*, <sup>2</sup>*Dotsenko N.A.*, <sup>2</sup>*Samofalova M.S.*

<sup>1</sup>*Rostov State Transport University*

<sup>2</sup>*Don State Technical University*

\*E-mail: [diana.elshaeva@yandex.ru](mailto:diana.elshaeva@yandex.ru)

## SELECTION OF A RATIONAL RECIPE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE ON A MIXTURE OF CERAMSITE GRAVEL, NATURAL CRUSHED STONE AND GRANULAR SLAG

**Abstract.** *In conditions of dense urban development and a variety of engineering and geological conditions, the use of concretes with a combined aggregate of a rationally selected composition will solve the existing problem of reducing the mass of reinforced concrete structures of buildings and structures and maintaining the required strength and deformability. In this paper, studies have been carried out on the choice of a rational formulation of lightweight concrete based on expanded clay gravel, natural crushed stone and granulated blast furnace slag by varying the volume content of porous coarse aggregate and the volume content of fine aggregate in relation to the mixture. In total, 9 series of prototypes and 1 series of control samples are manufactured and tested. One series of samples includes three cubes with dimensions of 10x10x10 cm. All samples are tested in terms of density and compressive strength, the coefficient of constructive quality is determined.*

*The results of the study shows that the introduction of expanded clay gravel into the composition of heavy concrete instead of part of the dense coarse aggregate and the replacement of the fine dense aggregate with granular blast furnace slag leads to an increase in the structural quality factor, that is, a decrease in the compressive strength of concrete is compensated for by an even more significant decrease in the density of the material, and means weight reduction. The increase in the coefficient of constructive quality of concrete based on expanded clay gravel, natural crushed stone and granulated blast-furnace slag in comparison with the control composition is 15,6 %.*

**Key words:** *lightweight concrete, structural quality factor, density, strength, volumetric content, dense aggregate, porous aggregate.*

## REFERENCES

1. Astrakhankina O.A. Structural lightweight concrete based on combined aggregates [Konstruktsionnye oblegchennye betony na kombinirovannykh zapolnitelyakh]. SPb, 1999. 174 p. (rus)
2. Abdykalykov T.A., Dzhamayeva A.M. Lightweight fine-grained concrete based on composite binders [Oblegchennye melkozernistyie betony na osnove kompozitsionnykh vyazhushchikh veshchestv]. Materials Science. 2017. No. 2(22). Pp. 20–23. (rus)
3. Bugaevskii S.A. The use of self-compacting concrete in the technology of construction of lightweight reinforced concrete floors [Primenenie samouplotnyayushchegosya betona v tekhnologii ustroystva oblegchennykh zhelezobetonnykh perekrytii]. Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University. 2015. No. 69. Pp. 79–90. (rus)
4. Savenkov A.I., Savenkov V.A. Lightweight variatropic reinforced concrete slabs [Oblegchennye variatropnye zhelezobetonnye perekrytiya]. Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 288–293. (rus)
5. Koyankin A.A. Lightweight prefabricated monolithic floor [Oblegchennoe sborno-monolitnoe perekrytie]. Vestnik MGSU. 2017. Vol. 12. No. 6(105). Pp. 636–641. (rus)
6. Belyaev A.V. To the calculation of three-layer reinforced concrete floor slabs [K raschetu trekhsloinykh zhelezobetonnykh plit perekrytii]. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2015. No. 1-2(34). AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2815> (date of treatment: 08.07.2021). (rus)
7. Kokorina D.V., Sumarokova L.S., Kapustin F.L. Selection of concrete composition on non-fired ash gravel [Podbor sostava betona na bezobzhigovom zol'nom gravii]. Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. 2017. Pp. 521–523. (rus)
8. Akulova M.V., Isakulov B.R., Dzhumabaev M.D., Toleuov T.Zh. Production of fine-grained wood concrete based on solid fruit waste [Poluchenie melkozernistogo arbolitobetona na osnove tverdykh fruktovykh otkhodov]. Scientific Review. 2016. No. 14. Pp. 107–115. (rus)
9. Gavrilov A.V., Aloyan K.D., Dobrokhoto V.B., Pridatko Yu.M. Improving the technology for producing lightweight concrete [Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya oblegchennykh betonov]. Shest'desyat vos'maya vsereoss. nauch.-tekhnich. konf. studentov, magistrantov i aspirantov vysshikh uchebnykh zavedenii s mezhdunarodnym uchastiem: sbornik materialov konferentsii. Yaroslavl State Technical University. 2015. Pp. 765–767. (rus)
10. Shcherbinina E.O., Panova V.F., Panov S.A. Concrete for monolithic housing construction using recycled mineral resources [Beton dlya monolitnogo domostroeniya s primeneniem vtorichnominer-al'nykh resursov]. Materialy i tekhnologii XXI veka: sbornik statei KhIV Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. Autonomous non-profit scientific and educational organization "Privolzhskii Dom znaniy". 2016. Pp. 247–250. (rus)
11. Mailyan D.R., Meretukov Z.A., Belyaev A.V., Umarov R.G. Features of the deformation calculation of three-layer reinforced concrete slab structures [Osobennosti deformatsionnogo rascheta trekhsloinykh zhelezobetonnykh plitnykh konstruktsii]. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2020. No. 10. AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6641> (date of treatment: 08.07.2021).
12. Lesovik V.S., Mos'pan A.V. Structural and heat-insulating pressed silicate products on granular aggregates [Konstruktsionno-teploizolyatsionnye pressovannye silikatnye izdeliya na granulirovannykh zapolnitelyakh]. News of the KSUAE. 2012. No. 3(21). Pp. 144–150. (rus)
13. Karaburc S.N.; Yildizel S.A.; Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 94(2). Pp. 81–92.
14. Begich Y.E.; Klyuev S.V.; Jos V.A.; Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 97(5). 9702. AdobeAcrobatReader. URL:

<https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (date of treatment: 09.07.2021).

15. Vieira G.B., Petrichenko M.R., Musorina T.A., Zaborova D.D. Behavior of a hollowed-wood ventilated façade during temperature changes. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 3(79). Pp. 103–111.

16. Karpenko N.I., Kaprielov S.S., Petrov A.N., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V., Chilin I.A. Investigation of the physical-mechanical and rheological properties of high-strength steel-fiber reinforced concrete from self-compacting mixtures [Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i reologicheskikh svoystv vysokoprochnykh stalefibrobetonov iz samouplotnyayushchikhsya smesei]. Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noi otrasli Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu: Sbornik nauchnykh trudov Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. ASV Publishing House. 2018. Pp. 237–246. (rus)

17. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Shuyskiy A.I., Nazhnev M.P. Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete. Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. Pp. 502–507.

18. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Zholobova O.A. Prescription and Technological Aspects of

Manufacturing High-Quality Centrifuged Products and Structures from Heavy Concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 022056. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022056>. (date of treatment: 09.07.2021).

19. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Mailyan L.R., Shcherban' E.M., Nazhnev M.P. Study of the nature of the drift mechanism of the components of a concrete mixture in the production of centrifuged columns of a variatropic structure on the example of a physical model of the movement of aggregates [Izuchenie kharaktera mekhanizma dreifa komponentov betonnoi smesi pri proizvodstve tseftrifugirovannykh kolonn variatropnoi struktury na primere fizicheskoi modeli dvizheniya zapolnitelei]. Construction and architecture. 2017. Vol. 5. No. 4. Pp. 229–233. (rus)

20. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Rymova E.M., Liev R.A. Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concretes [Vliyaniye vida zapolnitelya i dispersnogo armirovaniya na deformativnost' vibrotsentrifugirovannykh betonov]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 10. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: [www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf](http://www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf) (date of treatment: 09.07.2021).

#### Information about the authors

**Chernil'nik, Andrei A.** Graduate student. E-mail: [chernila\\_a@mail.ru](mailto:chernila_a@mail.ru). Rostov State Transport University. Russian Federation, 344038, Rostov-on-Don, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Square, 2.

**El'shaeva, Diana M.** Master student. E-mail: [diana.elshaeva@yandex.ru](mailto:diana.elshaeva@yandex.ru). Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Zherebtsov, Yurii V.** Master student. E-mail: [yuri.zherebtsov@gmail.com](mailto:yuri.zherebtsov@gmail.com). Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Dotsenko, Natal'ya A.** Master student. E-mail: [natalya\\_1998\\_dotsenko@mail.ru](mailto:natalya_1998_dotsenko@mail.ru). Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Samofalova, Mariya S.** Master student. E-mail: [mary.ss17@yandex.ru](mailto:mary.ss17@yandex.ru). Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

---

Received 19.07.2021

#### Для цитирования:

Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С. Выбор рациональной рецептуры облегченных бетонов на смеси керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного шлака // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 34–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42

#### For citation:

Chernil'nik A.A., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Samofalova M.S. Selection of a rational recipe of lightweight concrete on a mixture of ceramsite gravel, natural crushed stone and granular slag. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 34–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42