

DOI: 10.34031/article_5cd6df46bad533.65326025

^{1,*}Аль-Хаваф А. Ф.-К., ¹Никулин А.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46.

*E-mail: alifadhel087@gmail.com

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ИЗ БЕТОНА С ДОБАВЛЕНИЕМ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ БЕТОННОГО ЩЕБНЯ

Аннотация. В данной статье представлены некоторые результаты экспериментальных исследований центрально сжатых железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня. Предыдущие исследования продемонстрировали, что переработанный бетон в виде измельченного бетонного щебня, полученный из строительных отходов, может быть приемлемой и экологически чистой альтернативой традиционному крупному заполнителю для изготовления несущих конструкций. В настоящее время в научной литературе имеется ограниченный объем информации о методиках расчета, которые должны использоваться для проектирования железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня. С целью обоснования исходных предпосылок, гипотез и возможных ограничений при разработке методик расчета центрально и внецентренно сжатых элементов из указанного бетона в данной работе выполнено обобщение имеющихся в зарубежной и отечественной литературе экспериментальных данных о физико-механических свойствах такого бетона, а также об особенностях деформирования, изготовленных из него железобетонных колонн. Были проанализированы исследования, связанные с изучением влияния различного содержания в бетоне переработанного бетонного заполнителя, количества продольной стальной арматуры в сечении элемента и предела её текучести, шага и предела текучести поперечной арматуры на деформативность и несущую способность колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня. Показано, что использование такого бетона для изготовления центрально и внецентренно сжатых железобетонных колонн приводит к незначительному снижению их несущей способности. Это указывает на возможность утилизации значительного объема бетонного щебня, получаемого в результате переработки разрушенных при сносе зданий железобетонных конструкций, что позволяет отнести такую технологию к «зеленому строительству».

Ключевые слова: железобетон, колонна, конструкционный бетон, крупный заполнитель, бетонный щебень, несущая способность колонны, центральное сжатие, экспериментальные исследования, обобщение результатов.

Введение. Использование отходов строительства и утилизации железобетонных конструкций в качестве крупного заполнителя в новой бетонной смеси было признано привлекательным подходом к сохранению природных ресурсов и снижению воздействия строительной отрасли на окружающую среду [1–4]. В настоящее время в литературе имеется очень ограниченная информация о методах, которые будут использоваться для проектирования железобетонных элементов, изготовленных из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя.

При этом проведенные ранее многочисленные исследования продемонстрировали, что переработанный бетон в виде щебня может быть приемлемой и экологически чистой альтернативой традиционному природному заполнителю для изготовления несущих железобетонных конструкций. Получаемую при этом бетонную смесь можно отнести к материалам для «зеленого строительства». Однако бетон с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя характеризу-

ется, как правило, несколько пониженными механическими и прочностными свойствами по сравнению с традиционными бетонами с природным заполнителем [5–12].

Железобетонные конструкции, изготовленные с добавлением бетонного щебня, будут способствовать повторному использованию отходов бетона и могут быть использованы в строительстве в широких масштабах аналогично обычным железобетонным конструкциям из природного заполнителя.

Основная часть. Железобетонные балки и колонны являются основными несущими конструкциями каркасов зданий, и поэтому особенности их нелинейного деформирования при различных видах нагружений должны быть учтены при проектировании с максимально возможной точностью. С целью выявления и обобщения особенностей нелинейного деформирования железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя был выполнен анализ результатов экспериментов, проведенных

различными исследователями [13–16]. Все авторы указанных публикаций пришли к выводу, что силовое сопротивление испытанных образцов рассматриваемого типа на всех этапах их нагружения аналогично железобетонным колоннам из традиционного бетона. Однако увеличение содержания в образцах заполнителя из бетонного боя более 30 % приводит к некоторому уменьшению их несущей способности.

Кроме того, экспериментальный разброс результатов определения несущей способности таких колонн был исследован в работе [17], в которой был показан существенный рост коэффициента вариации для рассматриваемого параметра их несущей способности при сжатии, что требует внесения изменений в процедуру проектирования в виде корректировки частных коэффициентов безопасности по материалу применительно к бетонам с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня.

В представленном ниже обзоре научных публикаций показано, что исследование сопротивления центрально сжатых железобетонных

колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя имеет пока ограниченный характер. Недостаточно внимания уделялось также совершенствованию расчетных методик, которые должны использоваться для проектирования железобетонных элементов рассматриваемого вида. Поэтому изучение особенностей сопротивления сжатию железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя имеет важнейшее значение для начала широкомасштабного изготовления несущих конструкций зданий и сооружений из этого материала.

Некоторые экспериментальные результаты из литературы [13, 15, 16] для квадратных и круглых железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя, а также свойства материалов и геометрические характеристики испытанных образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований внецентренно сжатых железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя

Образец	w_{eff}/c	r , %	f_c , МПа	E_c , ГПа	L_c , мм	$h=b$; (D_e) , мм	d_s , мм	$f_{y,b}$, МПа	E_s , ГПа	d_{hoop} , мм	S , мм	$f_{y,v}$, МПа	$P_{u,t}$, кН
CRC0	0.436	0	39.05	24.2	1000	400	19	405.6	153.43	10	200	402.0	6136
CRC30	0.436	30	33.81	22.1	1000	400	19	405.6	153.43	10	200	402.0	6253
CRC60	0.436	60	32.35	20.5	1000	400	19	405.6	153.43	10	200	402.0	5814
CRC100	0.436	100	29.17	20.8	1000	400	19	405.6	153.43	10	200	402.0	5579
HCRC0	0.333	0	36.78	23.8	1000	400	19	427.8	157.55	10	200	483.2	6845
HCRC30	0.333	30	34.86	21.5	1000	400	19	427.8	157.55	10	200	483.2	6607
HCRC60	0.333	60	37.69	23.2	1000	400	19	427.8	157.55	10	200	483.2	6886
HCRC100	0.333	100	36.60	21.1	1000	400	19	427.8	157.55	10	200	483.2	5809
CRC0F0	0.414	0	27.18	24.7	1000	400	19	451.0	178.72	10	200	556.0	5849
CRC15F60	0.414	15	31.95	23.8	1000	400	19	451.0	178.72	10	200	556.0	6510
CRC30F45	0.407	30	31.28	24.9	1000	400	19	451.0	178.72	10	200	556.0	6657
CRC45F30	0.407	45	30.79	23.4	1000	400	19	451.0	178.72	10	200	556.0	5983
CRC60F15	0.407	60	31.61	23.8	1000	400	19	451.0	178.72	10	200	556.0	6472
rrac-30-1	0.45	0	36.24	27.0	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	997
rrac-30-2	0.45	0	36.24	27.0	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	1021
rrac-30-3	0.45	0	36.24	27.0	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	1037
rrac-30-0.5-1	0.45	50	37.36	23.9	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	1011
rrac-30-0.5-2	0.45	50	37.36	23.9	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	943
rrac-30-0.5-3	0.45	50	37.36	23.9	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	963
rrac-30-1-1	0.45	100	34.48	21.2	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	946
rrac-30-1-2	0.45	100	34.48	21.2	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	959
rrac-30-1-3	0.45	100	34.48	21.2	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	984
rrac-50-1-1	0.31	100	57.60	26.5	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	1383
rrac-50-1-2	0.31	100	57.60	26.5	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	1357
rrac-50-1-3	0.31	100	57.60	26.5	450	150	12	380.0	–	8	50	315.0	1296

В табл. 1 используются следующие обозначения: $w_{eff/c}$ – относительный эксцентриситет приложения продольной силы; r – содержание крупного заполнителя из бетонного боя, %; f_c – прочность при сжатии бетонных цилиндров; E_c – модуль упругости бетона; L_c – длина колонны; b, h – ширина квадратного сечения колонны; D_e – внешний диаметр поперечного сечения колонны; d_s – диаметр продольной арматуры; $f_{y,b}$ – предел текучести поперечной арматуры; d_{hoop} – диаметр поперечной арматуры; E_s – модуль упругости

продольной арматуры; S – шаг поперечной арматуры; $f_{y,v}$ – предел текучести продольной стальной арматуры; $P_{u,t}$ – экспериментальная предельная осевая нагрузка.

На рисунке 1 представлены экспериментальные графики, показывающие особенности сопротивления железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя [13, 15, 16] в зависимости от действия возрастающей продольной осевой нагрузки.

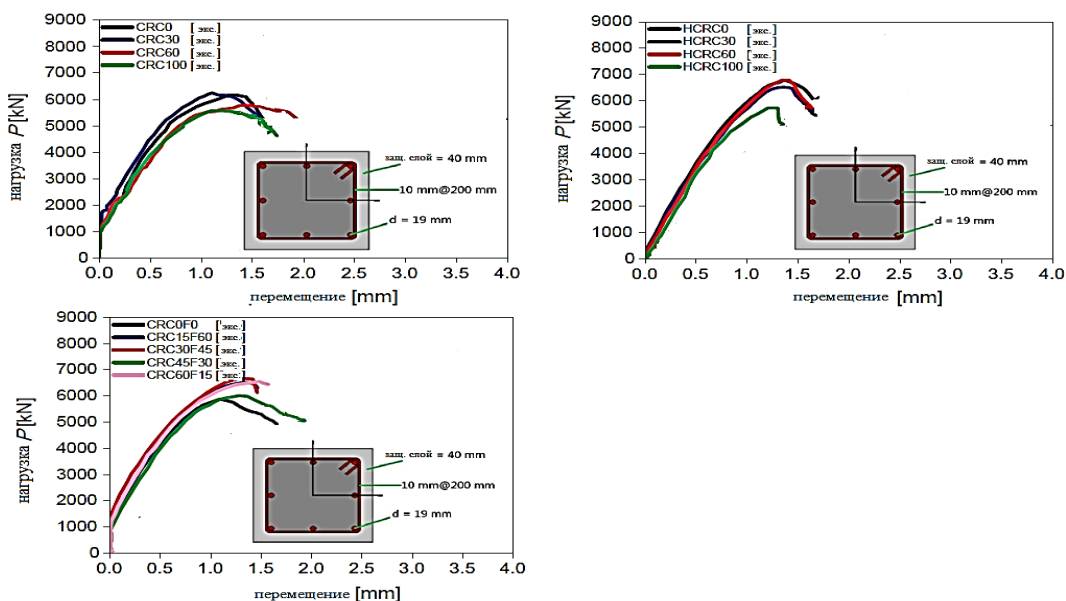


Рис. 1. Графики зависимости перемещений от продольной осевой нагрузки для железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя

Поскольку пока отсутствуют конкретные методики расчета для определения несущей способности (P_u) железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя, выполняем апробацию экспериментальных результатов с расчетными данными, полученными по существующим алгоритмам, предназначенным для традиционных бетонов.

Рассматривались расчетные выражения из норм разных стран, представленные в табл. 2.

Следует отметить, что все расчетные формулы (см. табл. 2) имеют аналогичный вид и отличаются только понижающим коэффициентом, который добавляется к решению, полученному по методу предельного равновесия.

Графическая интерпретация результатов сравнительного анализа экспериментальных и расчетных данных, выполненных по расчетным формулам для определения несущей способности сжатых колонн, представлена на рис. 2.

Таблица 2

Расчетные формулы для определения несущей способности железобетонных колонн

Нормы проектирования	Расчетная формула	Среднее значение отношения расчетной и экспериментальной величин ($P_{u,calc} / P_{u,exp}$)	Коэффициент вариации
GB 50010-2010 [20]	$P_u=0.9(f_c A_c+f_{y,b} A_s)$	0.81	0.10
ACI 318 [21]	$P_u=0.85f_c A_c+ f_{y,b} A_s$	0.84	0.07
Еврокод 2 [22]	$P_u=0.8f_c A_c+ f_{y,b} A_s$	0.80	0.07
NZS 3101 [23]	$P_u=0.85(f_c A_c+ f_{y,b} A_s)$	0.81	0.08
Принцип предельного равновесия	$P_u= f_c A_c+ f_{y,b} A_s$	0.90	0.10

Из рис. 2 и табл. 2 видно, что нормы проектирования различных стран, а также уравнение, полученное на основе метода предельного равновесия, дают результаты, приемлемые для определения несущей способности железобетонных колонн из переработанного крупного заполнителя. Однако расчетные данные существенно недооценивают опытные результаты.

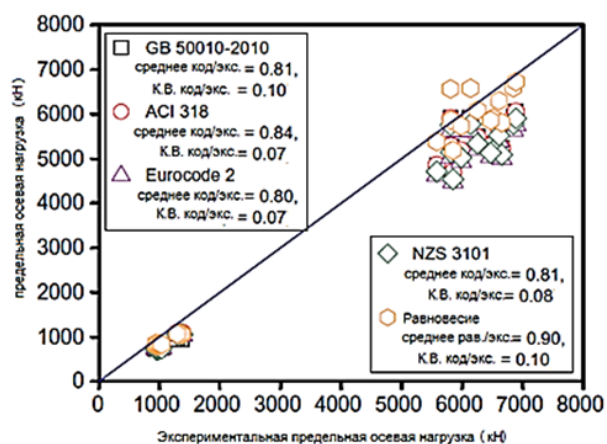


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных данных, выполненных по расчетным формулам для определения несущей способности сжатых колонн [15, 16]

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что нормативные документы GB

50010-2010, ACI 318, Еврокод 2, NZS 3101 и уравнение предельного равновесия дают, соответственно, 19 %, 16 %, 20 %, 19 % и 10 % недооценки по сравнению с экспериментальными результатами.

В нормативных документах разных стран (табл. 3) уже предусматривается возможность полной или частичной замены природного крупного заполнителя (а иногда и мелкого) на его аналог из бетонного щебня при изготовлении несущих железобетонных конструкций.

Значительное количество исследований [7–12, 24–25] показало, что деформативно-прочностные характеристики бетонов с добавлением бетонного щебня и соответствующих несущих элементов (например, железобетонных колонн) связаны не только с содержанием в их составе бетонного щебня, но на них также влияет качество переработанных бетонных заполнителей, что определяется их водопоглощением и плотностью.

Исследования [26, 27] показали, что заполнитель из переработанного бетонного боя обладает более высоким водопоглощением по сравнению с природным аналогом, содержит прилипший цементный раствор и имеет микротрещины, образующиеся при дроблении перерабатываемых бетонных элементов.

Таблица 3

Бетоны с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня в международных стандартах

Страна	Нормативный документ	Ограничения применения	Содержание крупного заполнителя из бетонного боя, %	Содержание мелкого заполнителя из бетонного боя, %	$f_{c,max}$ (замена до 100 %)	$f_{c,max}$ (замена до 20 %)
Бразилия	Draft NBR	–	0–100	0–20	-	45 н/мм ²
Германия	DIN 4226-100	нет предстрессового	0–45	не допускается	37 н/мм ²	
Голландия	NEN 5950	-	0–100	0–20	45 н/мм ²	без ограничений
Италия	DM 14/01/2008	–	0–100	не допускается	10 н/мм ²	37 н/мм ²
Япония	JIS A 5021/3	Конкретное использование	0–100	–	37 н/мм ²	-
Испания	Draft ENE	-	0–20	–	45 н/мм ²	
Великобритания	BS 6543 BRE 433	-	0–20	не рекомендуется	60 н/мм ²	Без ограничений
США	ACI 555R-01	-	0–100	0–100	при ACI 318	

В работе [19] представлены результаты исследований влияния на несущую способность колонн коэффициента продольного армирования сечения (ρ_s), а также различного содержания (r) в бетоне крупного заполнителя из бетонного

щебня. Соответствующие графики показаны на рисунках 3 и 4. Можно отметить, что коэффициент продольного армирования сечения (ρ_s) оказы-

вает значительное влияние на несущую способность колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня.

В этом же исследовании [19] установлено влияние предела текучести поперечной стальной

арматуры ($f_{y,b}$) на деформативность и несущую способность рассматриваемых колонн (рисунки 5 и 6).

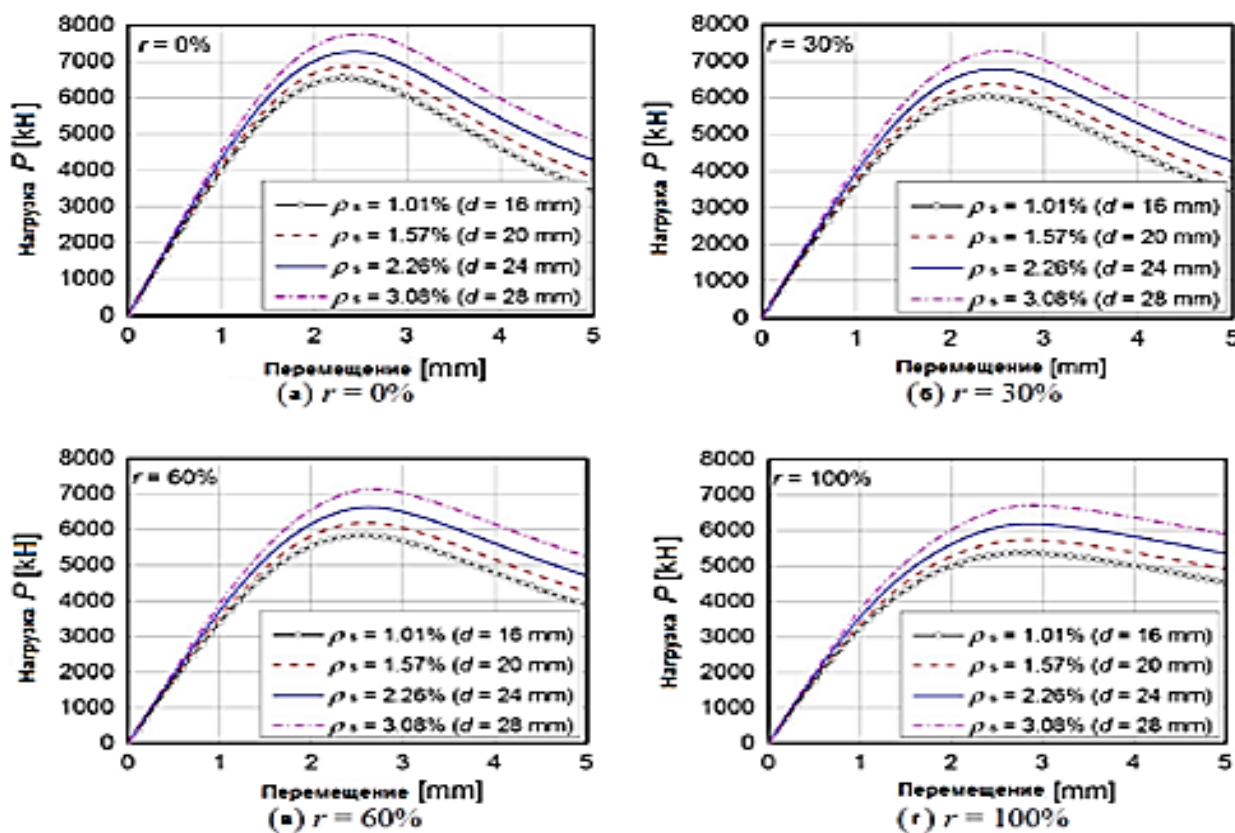


Рис. 3. Влияние на деформативность и несущую способность колонн коэффициента продольного армирования сечения (ρ_s), а также различного содержания (r) в бетоне крупного заполнителя из бетонного щебня (шаг поперечной арматуры – 200 мм) [19]

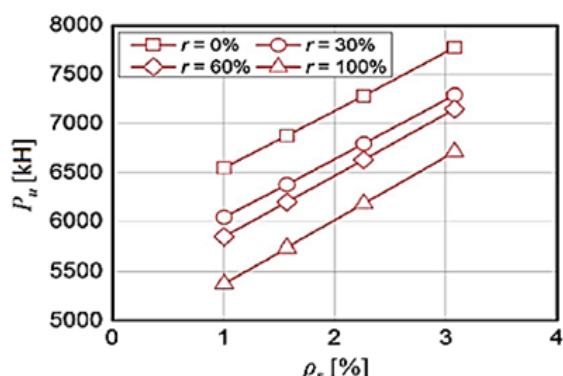


Рис. 4. Влияние коэффициента продольного армирования сечения (ρ_s) на предельную несущую способность колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня P_u [19]

Рис. 5 и 6 иллюстрируют, что увеличение предела текучести поперечной арматуры $f_{y,b}$ приводит к незначительному повышению несущей способности колонн. Однако при одинаковых

значениях коэффициента продольного армирования сечения ρ_s и предела текучести поперечной арматуры $f_{y,b}$ увеличение содержания переработанного бетонного заполнителя (r) способствует снижению несущей способности железобетонных колонн. Это объясняется более высокой деформативностью (сжимаемостью) бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня.

Изменение шага поперечной арматуры (S) в колоннах приводит к соответствующему снижению или увеличению коэффициента поперечных деформаций, что может заметно повлиять на деформативность и несущую способность железобетонных колонн из различных бетонов (рисунки 7 и 8), в том числе с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня [27].

Можно отметить, что увеличение параметра S приводит к снижению несущей способности железобетонных колонн. Это связано с тем, что

увеличение расстояния между стержнями поперечной стальной арматуры при сохранении других параметров постоянными приводит к увеличению коэффициента поперечных деформаций,

что, в свою очередь, понижает несущую способность железобетонных колонн из такого типа бетона.

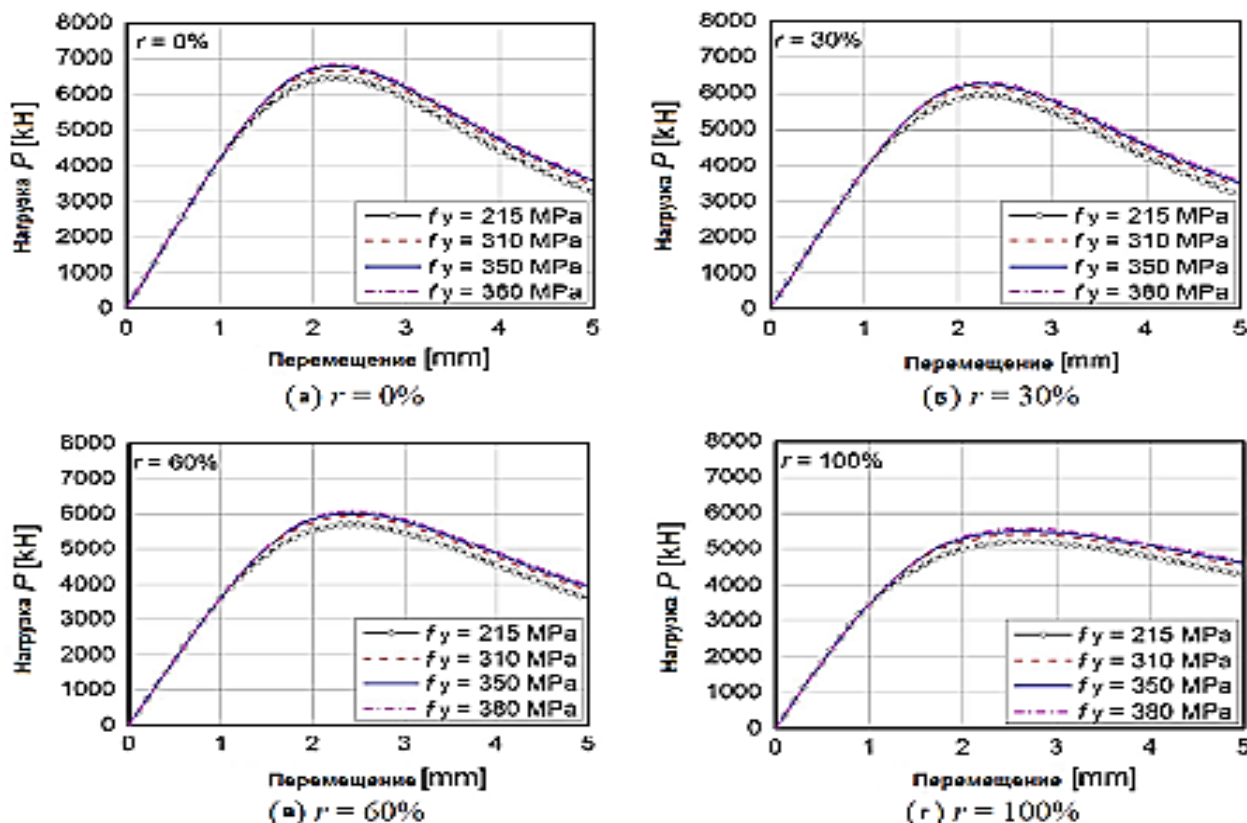


Рис. 5. Влияние предела текучести поперечной арматуры на деформативность и несущую способность железобетонных колонн (шаг поперечной арматуры 200 мм) [19]

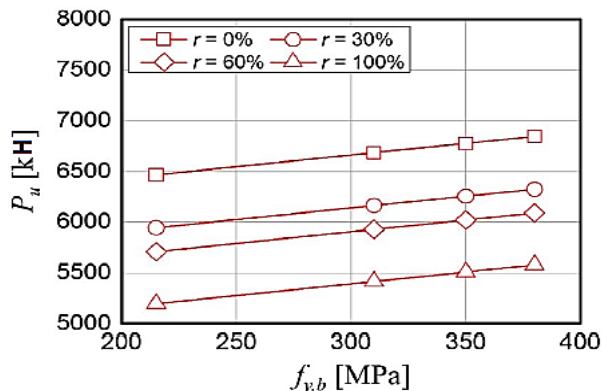


Рис. 6. Влияние предела текучести поперечной арматуры на несущую способность железобетонных колонн [19]

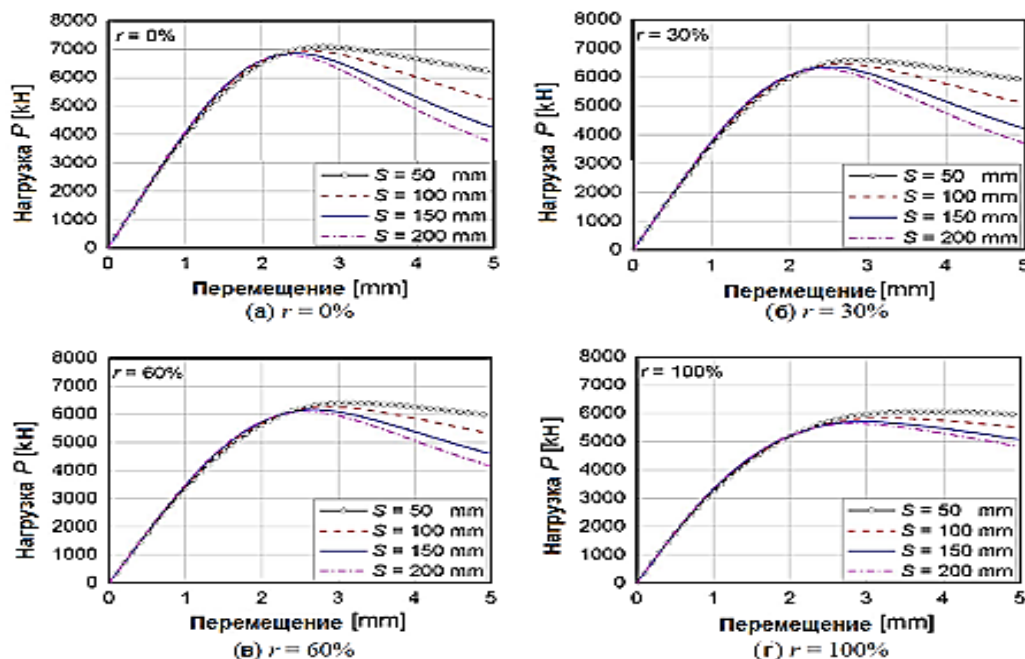
На рис. 9 и 10 показано влияние предела текучести продольной арматуры $f_{y,v}$ на деформативность и несущую способность железобетонных колонн из бетонов с различным содержанием крупного заполнителя из бетонного щебня при неизменном шаге поперечной арматуры ($S = 200$ мм). Из графиков, представленных на рис. 9, можно также видеть, что нисходящие

ветви зависимостей «продольная сила – перемещение» имеют незначительное расхождение, зависящее от пределов текучести продольной арматуры $f_{y,v}$. На основании анализа рисунка 10 можно сделать вывод о незначительном влиянии параметра $f_{y,v}$ на несущую способность железобетонных колонн.

Выводы

1. Анализ литературных источников показал, что в настоящее время имеется достаточно ограниченный объем информации о методиках, которые должны использоваться для расчета и проектирования железобетонных конструкций, изготовленных из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня.

2. Результаты этого исследования позволяют установить, что использование бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня в железобетонных колоннах оказывает незначительное влияние на особенности их сопротивления при центральной сжатии. Это открывает широкие возможности для применения таких бетонов в строительной практике, развивая тем самым перспективные технологии «зеленого строительства».



3. Рис. 7. Влияние шага поперечной арматуры на деформативность и несущую способность колонн [27]

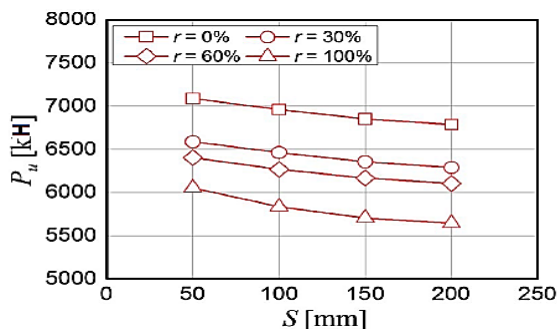


Рис. 8. Влияние шага поперечной арматуры на несущую способность железобетонных колонн [27]

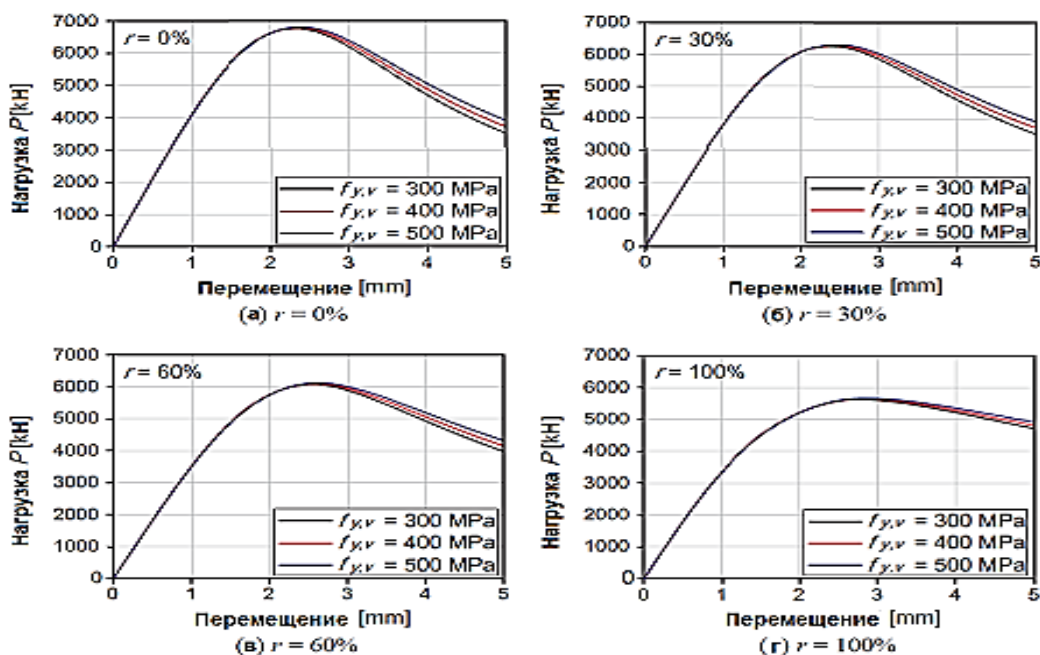


Рис. 9. Влияние предела текучести продольной арматуры на деформативность и несущую способность железобетонных колонн (шаг поперечной арматуры 200 мм) [27]

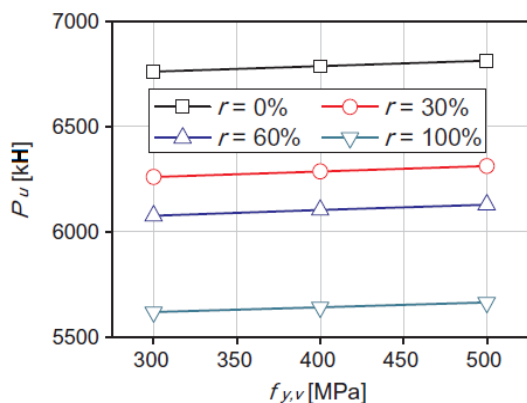


Рис. 10. Влияние предела текучести продольной арматуры на несущую способность центрально сжатых железобетонных колонн [27]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М., Муртазаев С.-А.Ю. Эффективные бетоны и растворы для строительных и восстановительных работ с использованием бетонного лома и отвалных зол ТЭС // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 124–128.
2. Болтрик М., Малашкевич Д., Паулючук Е. Основные технические свойства вторичного бетонного заполнителя. Польша: Технический университет Белостока, 2007.
3. Муртазаев С.-А.Ю. Эффективные бетоны и растворы на основе техногенного сырья для ремонтно-строительных работ: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. 43 с.
4. Муртазаев С.-А.Ю., Исмаилова З.Х. Использование местных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 57–58.
5. Chen Z.P., Xu J.J., Xue J.Y., Su Y.S. Performance and calculations of recycle aggregate concrete-filled steel tubular (RACFST) short columns under axial compression // Int J Steel Struct. 2014. Vol. 14(1). Pp. 31–42.
6. Islam M.J., Meherier M.S., Islam A.K.M. R. Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete // Construction and Building Materials. 125 (Supplement C). 2016. Pp. 946–951.
7. Safiullah O., Elhem G., George W. Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregates concretes properties // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 108. Pp. 163–174.
8. Dos Santos J.R., Branco F., De Brito J. Mechanical properties of concrete with coarse recycled aggregates // Struct Eng Int. 2004. Vol. 3. Pp. 213–5.
9. Tabsh S.W., Abdelfatah A.S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete // Constr Build Mater. 2009. Vol. 23(1). Pp. 163–167.
10. Dodds W., Goodier C., Christodoulou C., Austin S., Dunne D. Durability performance of sustainable structural concrete: effect of coarse crushed concrete aggregate on microstructure and water ingress // Constr Build Mater. 2017. Vol. 145. Pp. 183–195.
11. Cabral A.E.B., Schalch V., Molin D.C.C.D., Ribeiro J.L.D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24 (4). Pp. 421–430.
12. Pacheco J., de Brito J., Ferreira J., Soares D. Flexural load tests of full-scale recycled aggregates concrete structures // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 101. Part 1. Pp. 65–71.
13. Silva R.V., Brito J., Evangelista L., Dhir R.K. Design of reinforced recycled aggregate concrete elements in conformity with Eurocode 2 // Constr. Build. Mater. 2016. Vol. 105. Pp. 144–156.
14. Tošić N., Marinković S., Ignjatović I.A. Database on flexural and shear strength of reinforced recycled aggregate concrete beams and comparison to Eurocode 2 predictions // Constr Build Mater. 2016. Vol. 127. Pp. 932–944.
15. Wang Y.Y., Chen J., Zong B., Geng Y. Mechanical behavior of axially loaded recycled aggregate concrete filled steel tubular stubs and reinforced recycled aggregate concrete stubs // J Build Struct. 2011. Vol. 32(12). Pp. 170–177.
16. Choi W.C., Yun H.D. Compressive behavior of reinforced concrete columns with recycled aggregate under uniaxial loading // Eng Struct. 2012. Vol. 41(3). Pp. 285–293.
17. Breccolotti M., Materazzi A.L. Structural reliability of eccentrically-loaded sections in RC columns made of recycled aggregate concrete // Eng Struct. 2010. Vol. 32(11). Pp. 3704–3712.
18. Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. Theoretical stress–strain model for confined concrete // ASCE J Struct Eng. 1998. Vol. 114(8). Pp. 1804–26.
19. Xiao J.Z., Li J.B., Zhang C. Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading // Cem Concr Res. 2005. Vol. 35(6). Pp. 1187–1194.
20. Chinese Standard. GB 50010-2010. Code for design of concrete structures. Beijing: China Planning Press; 2010.
21. ACI Committee 318. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-11) and commentary. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute; 2011.
22. EN 1992-1-1. Eurocode 2: design of concrete structures – Part 1-1: general rules and rules for buildings. Brussels: CEN; 2004.
23. New Zealand Standard. NZS 3101: concrete structures standard part 2 – commentary on the

design of concrete structures. Wellington: Standards New Zealand; 2006.

24. Ferreira L., de Brito J., Barra M. Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties // *Mag Concr Res.* 2011. Vol. 63(8). Pp. 17–27.

25. Silva R.V., de Brito J., Dhir R.K. The influence of the use of recycled aggregates on the compressive strength of concrete: a review // *Eur J Environ Civ Eng.* 2015. Vol. 19(7). Pp. 825–849.

26. Gayarre F.L., Pérez C.L.C., López M.A.S., Cabo AD. The effect of curing conditions on the compressive strength of recycled aggregate concrete // *Constr Build Mater.* 2014. Vol. 53. Pp. 260–266.

27. Lim J.C., Ozbakkaloglu T. Lateral strain-to-axial strain relationship of confined concrete // *J Struct Eng.* 2015. Vol. 141(5). 04014141.

Информация об авторах

Аль-Хаваф Али Фадиль Касим, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: alifadhel087@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Никулин Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: nikulin137@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в февраль 2019 г.

© Аль-Хаваф А. Ф-К., Никулин А.И., 2019

^{1,*}*Al'-Khavaf A. F-K., ¹Nikulin A.I.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.*

**E-mail: alifadhel087@gmail.com*

DEFORMATION OF CENTRICALLY COMPRESSED REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH ADDITION OF CONCRETE RUBBLE AS COARSE AGGREGATE

Abstract. *The article presents results of experimental studies of centrally compressed reinforced concrete columns with the addition of concrete rubble as coarse aggregate. Previous studies shows that recycled concrete in the form of crushed concrete rubble obtained from construction waste is an environmentally friendly alternative to traditional coarse aggregate for the manufacture of load-bearing structures. Currently, the scientific literature has a limited amount of information about the calculation methods to be used for the design of reinforced concrete columns with the addition of concrete rubble as coarse aggregate. In this paper, the experimental data on the physicomachanical properties of concrete available in the foreign and domestic literature are summarized. In addition, the deformation features of reinforced concrete columns are highlighted to substantiate the initial premises, hypotheses and possible limitations when developing methods for calculating centrally and eccentrically compressed elements from the specified concrete. Researches are analyzed related to the effect of different content of recycled concrete aggregate in the concrete, the number of longitudinal steel reinforcement in the cross section of the element and its yield strength, pitch and yield strength of transverse reinforcement on the deformability and bearing capacity of concrete columns with the addition of coarse aggregate from concrete rubble. The use of such concrete for the manufacture of centrally and eccentrically compressed concrete columns leads to an insignificant decrease in their bearing capacity. This indicates the possibility of recycling a significant amount of concrete rubble resulting from the processing of reinforced concrete structures destroyed during the demolition of buildings; it allows to attribute this technology to “green building”.*

Keywords: *reinforced concrete, column, structural concrete, coarse aggregate, concrete rubble, columns bearing capacity, central compression, experimental research, generalization of results.*

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Murtazaev S.-A.Yu. Effective concretes and mortars for construction and restoration works using concrete scrap and dump ash of thermal power plants. *Vestnik MGSU.* 2008. № 3. Pp. 124-128.

2. Boltrik M., Malashkevich D., Paulichuk E. Main technical properties of secondary concrete aggregate. Poland: Technical University of Bialystok, 2007.

3. Murtazaev S.-A.U. Effective be-tones and solutions based on technogenic raw materials for repair and construction works: Auto-ref. dis. ... Dr.

- Techn. Sciences: 05.23.05. Belgo-genus: BSTU. V.G. Shukhov, 2009. 43 p.
4. Murtazaev S.-A. Yu., Ismailova Z. Kh. Use of local industrial wastes in fine-grained concretes. *Stroitel'nye materialy*, 2013, no. 2008. № 3. Pp. 57–58.
 5. Chen Z.P., Xu J.J., Xue J.Y., Su Y.S. Performance and calculations of recycle aggregate concrete-filled steel tubular (RACFST) short columns under axial compression. *Int J Steel Struct*. 2014. Vol. 14(1). Pp. 31–42.
 6. Islam M.J., Meherier M.S., Islam A.K.M. R. Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and hardened properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 125 (Supplement C). 2016. Pp. 946–951.
 7. Safiullah O., Elhem G., George W. Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregate concretes properties. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 108. Pp. 163–174.
 8. Dos Santos J.R., Branco F., De Brito J. Mechanical properties of concrete with coarse recycled aggregates. *Struct Eng Int*. 2004. Vol. 3. Pp. 213–215.
 9. Tabsh S.W., Abdelfatah A.S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Constr Build Mater*. 2009. Vol. 23(1). Pp. 163–167.
 10. Dodds W., Goodier C., Christodoulou C., Austin S., Dunne D. Durability performance of sustainable structural concrete: effect of coarse crushed concrete aggregate on microstructure and water ingress. *Constr Build Mater*. 2017. Vol. 145. Pp. 183–195.
 11. Cabral A.E.B., Schalch V., Molin D.C.C.D., Ribeiro J.L.D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2010. Vol. 24 (4). Pp. 421–430.
 12. Pacheco J., de Brito J., Ferreira J., Soares D. Flexural load tests of full-scale recycled aggregate concrete structures. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 101. Part 1. Pp. 65–71.
 13. Silva R.V., Brito J., Evangelista L., Dhir R.K. Design of reinforced recycled aggregate concrete elements in conformity with Eurocode 2. *Constr. Build. Mater*. 2016. Vol. 105. Pp. 144–156.
 14. Tošić N., Marinković S., Ignjatović I.A. Database on flexural and shear strength of reinforced recycled aggregate concrete beams and comparison to Eurocode 2 predictions. *Constr Build Mater*. 2016. Vol. 127. Pp. 932–944.
 15. Wang Y.Y., Chen J., Zong B., Geng Y. Mechanical behavior of axially loaded recycled aggregate concrete filled steel tubular stubs and reinforced recycled aggregate concrete stubs. *J Build Struct*. 2011. Vol. 32(12). Pp. 170–177.
 16. Choi W.C., Yun H.D. Compressive behavior of reinforced concrete columns with recycled aggregate under uniaxial loading. *Eng Struct*. 2012. Vol. 41(3). Pp. 285–293.
 17. Breccolotti M., Materazzi A.L. Structural reliability of eccentrically-loaded sections in RC columns made of recycled aggregate concrete. *Eng Struct*. 2010. Vol. 32(11). Pp. 3704–3712.
 18. Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. Theoretical stress–strain model for confined concrete. *ASCE J Struct Eng*. 1998. Vol. 114(8). Pp. 1804–1826.
 19. Xiao J.Z., Li J.B., Zhang C. Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. *Cem Concr Res*. 2005. Vol. 35(6). Pp. 1187–1194.
 20. Chinese Standard. GB 50010-2010. Code for design of concrete structures. Beijing: China Planning Press; 2010.
 21. ACI Committee 318. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-11) and commentary. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute; 2011.
 22. EN 1992-1-1. Eurocode 2: design of concrete structures – Part 1-1: general rules and rules for buildings. Brussels: CEN; 2004.
 23. New Zealand Standard. NZS 3101: concrete structures standard part 2 – commentary on the design of concrete structures. Wellington: Standards New Zealand; 2006.
 24. Ferreira L., de Brito J., Barra M. Influence of the pre-saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties. *Mag Concr Res*. 2011. Vol. 63(8). Pp. 17–27.
 25. Silva R.V., de Brito J., Dhir R.K. The influence of the use of recycled aggregates on the compressive strength of concrete: a review. *Eur J Environ Civ Eng*. 2015. Vol. 19(7). Pp. 825–849.
 26. Gayarre F.L., Pérez C.L.C., López M.A.S., Cabo A.D. The effect of curing conditions on the compressive strength of recycled aggregate concrete. *Constr Build Mater*. 2014. Vol. 53. Pp. 260–266.
 27. Lim J.C., Ozbakkaloglu T. Lateral strain-to-axial strain relationship of confined concrete. *J Struct Eng*. 2015. Vol. 141(5). 04014141.

Information about the authors

Al'-Khavaf A. F.-K. Postgraduate student. E-mail: alifadhel087@gmail.com. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nikulin, Alexander I. PhD, Associate Professor. E-mail: nikulin137@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in February 2019

Для цитирования:

Аль-Хаваф А. Ф-К., Никулин А.И. Деформирование центрально сжатых железобетонных колонн из бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного щебня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 66–76. DOI: 10.34031/article_5cd6df46bad533.65326025

For citation:

Al'-Khavaf A. F-K., Nikulin A.I. Deformation of centrally compressed reinforced concrete columns with addition of concrete rubble as coarse aggregate. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 66–76. DOI: 10.34031/article_5cd6df46bad533.65326025