

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук (lab01@mail.ru), К.Л. КУДЯКОВ, канд. техн. наук (konst_k@mail.ru),
О.В. КУДИНОВ, инженер

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Оценка влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703–2014 на прочностные и деформативные свойства изгибаемых железобетонных конструкций

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева была выполнена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа (НИОКР), одной из задач которой ставилась оценка влияния крупного заполнителя по ГОСТ 32703–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования» на прочностные свойства железобетонных конструкций. В рамках исследования выполнена экспериментальная и теоретическая оценка влияния крупного заполнителя по ГОСТ 32703–2014 на прочность нормальных и наклонных сечений изгибаемых элементов. Проведен сравнительный анализ с прочностью изгибаемых элементов, изготовленных на крупном заполнителе по ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». По результатам исследований установлено, что замена крупного заполнителя с ГОСТ 8267–93 на заполнитель по ГОСТ 32703–2014 в изгибаемых железобетонных конструкциях практически не оказывает влияния на прочность нормальных и наклонных сечений. При этом оценка деформативности показала наличие отклонений более 20%. С учетом этого были сформулированы предложения по проведению дальнейших более детальных исследований деформативности конструкций с заполнителем по ГОСТ 32703–2014.

Ключевые слова: бетон, железобетон, прочность, деформативность, изгибаемый элемент, крупный заполнитель.

Для цитирования: Зенин С.А., Кудяков К.Л., Кудинов О.В. Оценка влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703–2014 на прочностные и деформативные свойства изгибаемых железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 2022. № 1 (609). С. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-10-16>

S.A. ZENIN, Candidate of Sciences (Engineering) (lab01@mail.ru), K.L. KUDYAKOV, Candidate of Sciences (Engineering), O.V. KUDINOV, Engineer
Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel'stvo”
(6, build. 5, 2-nd Institut'skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Evaluation of the Influence of Concretes on Aggregates According to GOST 32703–2014 on the Strength and Deformative Properties of Bent Reinforced Concrete Structures

Research and development work was carried out at the A.A. Gvozdev NIIZHB, one of the tasks of which was to assess the impact of a large aggregate according to GOST 32703–2014 “Public automobile roads. Crushed stone and gravel from rocks. Technical requirements” for the strength properties of reinforced concrete structures. As part of the study, an experimental and theoretical assessment of the effect of a large filler according to GOST 32703–2014 on the strength of normal and inclined sections of bent elements was performed. A comparative analysis with the strength of the bent elements made with a large aggregate according to GOST 8267–93 “Crushed stone and gravel from dense rocks for construction works. Technical conditions”. According to the research results, it was found that the replacement of a large aggregate with GOST 8267 with aggregate GOST 32703 in bent reinforced concrete structures has practically no effect on the strength of normal and inclined sections. At the same time, the assessment of deformability showed the presence of deviations of more than 20%. With this in mind, proposals were formulated for further more detailed studies of the deformability of structures with filler according to GOST 32703–2014.

Keywords: concrete, reinforced concrete, strength, deformability, bendable element, large aggregate.

For citation: Zenin S.A., Kudiyakov K.L., Kudinov O.V. Evaluation of the influence of concretes on aggregates according to GOST 32703–2014 on the strength and deformative properties of bent reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 1. (609), pp. 10–16. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-10-16>

В настоящее время в нашей стране действуют два стандарта, регламентирующих производство щебня из горных пород, – ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» (далее – ГОСТ 8267) и ГОСТ 32703–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования» (далее – ГОСТ 32703). В ГОСТ 8267 содержатся требования к щебню и гравиям из горных пород, применяемым в качестве

заполнителей для тяжелого бетона, т. е. для общестроительных работ. Требования ГОСТ 32703 предъявляются к щебню и гравиям из горных пород, применяемым конкретно в дорожном строительстве.

Таким образом, на строительном рынке сложилась ситуация, когда производители щебня имеют возможность изготавливать щебень по двум стандартам. При этом действующая нормативная база по проектированию бетонных и железобетонных конструкций предусматривает возможность приме-

нения щебня только по ГОСТ 8267. В связи с этим возникают вопросы о возможности применения щебня, произведенного в соответствии с требованиями ГОСТ 32703, влиянии его на поведение конструкций из бетона и железобетона под эксплуатационной нагрузкой, прочностные и деформативные характеристики элементов, включая влияние на сцепление арматуры с бетоном, содержащим щебень по ГОСТ 32703.

С целью оценки возможности применения крупного заполнителя по ГОСТ 32703 в изгибаемых железобетонных конструкциях НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены экспериментальные исследования опытных образцов.

Предварительно проведенный анализ отечественной (СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [1–8] и зарубежной нормативной базы [10–11] показал, что подход к оценке влияния крупного заполнителя на характеристики бетона достаточно сходен. В общем случае крупность заполнителя влияет в первую очередь на деформативные характеристики бетонов, изменяющиеся в зависимости от протекающих процессов ползучести, усадки, а также длительности действия нагрузок, что нашло отражение как в отечественных, так и зарубежных нормах. В европейских нормах при этом имеются более детальные указания по назначению начального модуля упругости бетона в зависимости от вида крупного заполнителя. В расчетных методиках по предельным состояниям данные особенности отражены в расчетах по эксплуатационной пригодности. В части расчетов конструкций по прочности учет влияния заполнителя практически отсутствует. Также во всех рассмотренных нормах предусмотрен учет влияния размера заполнителя на качество бетонирования; по этой причине нормами предусмотрен ряд конструктивных требований по назначению величин защитного слоя бетона и расстояния в свету между арматурными стержнями в зависимости от максимального размера крупного заполнителя.

В рамках НИОКР была разработана программа исследований с учетом результатов предварительного анализа литературных источников, включающая испытания балочных элементов. При этом рассмотрены различные схемы и формы их разрушения в зависимости от исследуемых воздействий. Для балочных элементов было предусмотрено получение схем разрушения по нормальным сечениям от действия изгибающих моментов и по наклонным сечениям от действия поперечных сил; определение прогибов проводилось по методике ГОСТ 8829–2018 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний

нагрузением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

Для оценки влияния бетонов, изготовленных с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, на деформативные и прочностные свойства железобетонных конструкций были приняты опытные образцы в виде балочных элементов с поперечным сечением простой прямоугольной формы.

Для оценки возможных схем разрушения выполнены предварительные теоретические расчеты опытных элементов согласно СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Геометрические параметры железобетонных балок и их конструктивные решения приняты на основании анализа отечественных и зарубежных исследований и нормативно-технических документов, результатов предварительных расчетов, а также возможностей испытательного оборудования.

Испытания балок проводились на гидравлическом прессе Instron 1000 HDX, нагрузка прикладывалась ступенями, равными 1/10 от теоретической разрушающей нагрузки.

Для проведения испытаний на изгиб были изготовлены образцы из бетона классов по прочности при сжатии В25 и В60 с применением щебня по ГОСТ 8267 (серия 1.1) и ГОСТ 32703 (серия 1.2). При этом фактические классы бетонов несколько отличались от заданных, что было учтено при определении соответствующих несущих способностей образцов при их теоретической оценке.

Образцы для оценки прочности нормальных сечений представляют собой балки длиной 1500 мм с размерами поперечного сечения 120×220 (h) мм, армированные стержнями диаметром 12 мм класса А500 в сжатой и растянутой зонах. В качестве поперечной арматуры принята арматура класса А240 диаметром 6 мм, расположенная с шагом 50 мм.

Образцы для оценки прочности наклонных сечений представляют собой балки длиной 1500 мм с размерами поперечного сечения 120×250 (h) мм, армированные в сжатой зоне стержнями диаметром 16 мм класса А500, а в растянутой зоне для балок из бетона класса В25 – диаметром 16 мм класса А500; для балок из бетона класса В60 – диаметром 20 мм класса А500. В качестве поперечной арматуры принята арматура класса А240 диаметром 6 мм, расположенная с шагом 50 мм. Количество образцов и их заданные характеристики представлены в табл. 1.

Схемы испытания образцов приведены на рис. 1 и 2.

Проведенные испытания опытных образцов серии 1 показали, что характер разрушения для всех образцов соответствует ожидаемому. В табл. 2 и 3 приведены основные параметры опытных образцов,

Таблица 1
Table 1Заданные характеристики образцов для испытаний при изгибе
Characteristics of bending test samples

Шифр партии образцов	Количество образцов в партии	Щебень в составе бетона по ГОСТ	Класс бетона	Поперечное сечение ($b \times h$), мм
1.1-1	2	8267	B25	120×220
1.1-2	2	8267	B25	120×250
1.1-3	2	8267	B60	120×220
1.1-4	2	8267	B60	120×250
1.2-1	2	32703	B25	120×220
1.2-2	2	32703	B25	120×250
1.2-3	2	32703	B60	120×220
1.2-4	2	32703	B60	120×250

а также результаты сравнительного анализа соответствующих опытных и теоретических значений несущих способностей (по нормальному и наклонному сечению).

Сравнительный анализ опытных образцов, разрушившихся по нормальному сечению, показал, что значения разрушающих нагрузок для соответствующей пары близнецов близки, разница между ними (откл. P_{on}) практически отсутствует и составляет не более 5%. Для пар опытных образцов, разрушенных по наклонному сечению, данные значения имеют несколько большую разницу в пределах от 3 до 12%.

Разрушение по нормальному сечению

Сравнительный анализ результатов испытаний аналогичных образцов при разных составах (на щебне по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703) и разрушении по нормальному сечению показал следующее. При средней кубиковой прочности порядка 36 МПа (образцы партий 1.1-1 и 1.2-1) разница между опытными разрушающими нагрузками в парах-близнецах (партиях) образцов составляет не более 5%. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что нагрузки для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 5% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. Сравнение фактической несущей способности данных балок по нормальному сечению с теоретическими значениями, определенными по СП 63.13330.2018, показало незначительное отклонение в пределах 5%, причем опытные значения выше теоретических.

При средней кубиковой прочности около 73 МПа (образцы партий 1.1-3 и 1.2-3) разница между опытными разрушающими нагрузками образцов-близнецов не превышает 3%. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что они практически идентичны: для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 средние разрушающие нагрузки на 3% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703.

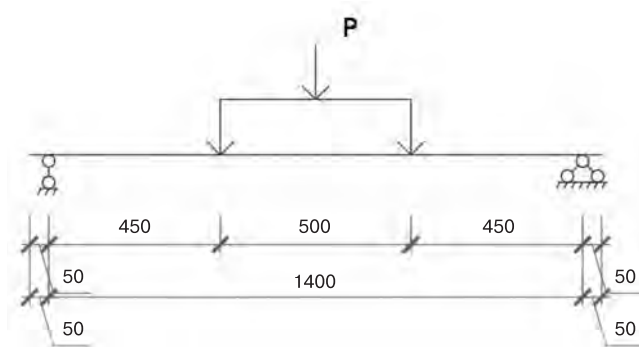


Рис. 1. Схема испытаний партий образцов с шифрами 1.1-1; 1.1-3; 1.2-1 и 1.2-3

Fig. 1. Scheme of testing batches of samples with ciphers 1.1-1; 1.1-3; 1.2-1 and 1.2-3

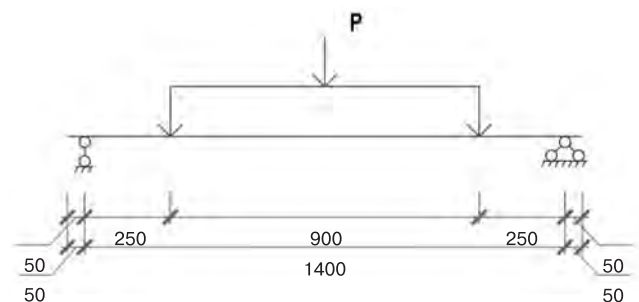


Рис. 2. Схема испытаний партий образцов с шифрами 1.1-2; 1.1-4; 1.2-2 и 1.2-4

Fig. 2. Scheme of testing batches of samples with ciphers 1.1-2; 1.1-4; 1.2-2 and 1.2-4

При этом сравнение опытных и теоретических несущих способностей по нормальному сечению для указанных партий образцов показало, что теоретические значения несколько ниже: от 3 до 10%. Причем в образце 1.1-3(1) теоретическая несущая способность оказалась на 16% ниже, чем фактическая. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что значение толщины защитного слоя бетона, учитываемого в теоретических расчетах, замерялось после испытаний и в данном образце при разрушении произошло некоторое смещение каркаса.

Таблица 2
Table 2

Основные данные и сравнение результатов испытаний опытных образцов, разрушившихся по нормальному сечению
Basic data and comparison of test results of prototypes destroyed by normal cross-section

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	R_m , МПа	σ_T , МПа	A'_s , мм ²	A_s , мм ²	a , мм	a' , мм	h_0 , мм	P_{on} , кН	M_{on} , кН×м	M_m , кН×м	$\frac{M_m}{M_{on}}$	Откл. P_{on} в партии	$P_{on,cp,j}$, кН	$\frac{P_{on,cp\ 8267}}{P_{on,cp\ 32703}}$
1	1.1-1(1)	8267	37,2	584	226	226	24	26	193	98,5	22,16	22,3	1,01	0,99	99,25	0,95
2	1.1-1(2)	8267	37,2	584	226	226	27	23	189	100	22,50	21,4	0,95			
3	1.2-1(1)	32703	34,9	584	226	226	21	29	195	106,7	24,01	23	0,96	1,05	104,05	
4	1.2-1(2)	32703	34,9	584	226	226	20	30	194	101,4	22,82	23	1,01			
5	1.1-3(1)	8267	73,3	584	226	226	30	20	184	108,1	24,32	20,33	0,84	1	108,2	1,03
6	1.1-3(2)	8267	73,3	584	226	226	21	28	194	108,3	24,37	22,83	0,94			
7	1.2-3(1)	32703	72,3	584	226	226	25	29	189	106,5	23,96	21,65	0,9	1,03	104,7	
8	1.2-3(2)	32703	72,3	584	226	226	22	32	192	102,9	23,15	22,44	0,97			

Примечания: R_m – средняя кубиковая прочность бетона; σ_T – предел текучести продольной арматуры; A'_s – площадь сжатой арматуры; A_s – площадь растянутой арматуры; a – толщина защитного слоя бетона у растянутой грани; a' – толщина защитного слоя бетона у сжатой грани; h_0 – рабочая высота сечения; P_{on} – опытная разрушающая нагрузка; M_{on} – изгибающий момент в нормальном сечении от опытной разрушающей нагрузки; M_m – теоретический предельный изгибающий момент в нормальном сечении; $P_{on,cp,j}$ – среднее по партии образцов значение опытной разрушающей нагрузки, где j характеризует щебень в составе бетона по ГОСТ 8267 или 32703.

В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть хорошую сходимость между опытными результатами и результатами теоретических расчетов, выполненных по методике СП 63.13330.2018, для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и

ГОСТ 32703. Независимо от класса бетона по прочности разница экспериментальных значений несущей способности для данных образцов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, не превышает 5%. Теоретические значения соответствующих несущих способностей по нормальному

Таблица 3
Table 3

Основные данные и сравнение результатов испытаний опытных образцов, разрушившихся по наклонному сечению
Basic data and comparison of test results of prototypes that collapsed along an inclined section

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	R_m , МПа	σ_T , МПа	A_{sw} , мм ²	s_w , мм	a , мм	a' , мм	h_0 , мм	P_{on} , кН	Q_{on} , кН	Q_m , кН	$\frac{Q_m}{Q_{on}}$	Откл. P_{on} в партии	$P_{on.cp,j}$, кН	$\frac{P_{on.cp\ 8267}}{P_{on.cp\ 32703}}$
1	1.1-2(1)	8267	37,2	314	57	50	22	25	219	218,1	109,05	84,2	0,77	1,12	206,65	0,97
2	1.1-2(2)	8267	37,2	314	57	50	24	31	184	195,2	97,6	83,9	0,86			
3	1.2-2(1)	32703	34,9	314	57	50	28	22	217	210,7	105,35	77,8	0,74	0,97	214	
4	1.2-2(2)	32703	34,9	314	57	50	26	21	189	217,3	108,65	79,8	0,73			
5	1.1-4(1)	8267	73,3	314	57	50	23	25	218	251	125,5	109,7	0,87	1,03	247,2	0,96
6	1.1-4(2)	8267	73,3	314	57	50	24	24	195	243,4	121,7	112,5	0,92			
7	1.2-4(1)	32703	72,3	314	57	50	20	25	219	246,4	123,2	111,7	0,91	0,91	258,3	
8	1.2-4(2)	32703	72,3	314	57	50	21	25	189	270,2	135,1	109,9	0,81			
Примечания: R_m – средняя кубиковая прочность бетона; σ_T – предел текучести продольной арматуры; A_{sw} – площадь поперечной арматуры; s_w – шаг поперечной арматуры; a – толщина защитного слоя бетона у растянутой грани; a' – толщина защитного слоя бетона у сжатой грани; h_0 – рабочая высота сечения; P_{on} – опытная разрушающая нагрузка; Q_{on} – поперечная сила в наклонном сечении от опытной разрушающей нагрузки; Q_m – теоретическая предельная поперечная сила в наклонном сечении; $P_{on.cp\ j}$ – среднее по партии образцов значение опытной разрушающей нагрузки, где j характеризует щебень в составе бетона по ГОСТ 8267 или 32703.																

Таблица 4
Table 4Сравнение результатов испытаний опытных образцов по прогибам на 6-м этапе нагружений
Comparison of test results of prototypes on deflections at the 6th stage of loading

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	Основные габариты, l×b×h, мм	R_m , МПа	$P_{on,i}$, кН	$f_{on,i}$, мм	откл. $f_{on,i}$ в партии	$f_{on,i,cp,j}$, кН	$\frac{f_{on,i,cp\ 8267}}{f_{on,i,cp\ 32703}}$
1	1.1-1(1)	8267	1505×120×223	37,2	55,9	3,4	1,02	3,36	0,95
2	1.1-1(2)	8267	1499×119×222	37,2	55,9	3,32			
3	1.2-1(1)	32703	1498×121×222	34,9	55,9	3,95	0,99	3,96	
4	1.2-1(2)	32703	1501×120×220	34,9	55,9	3,97			
5	1.1-3(1)	8267	1502×120×220	73,3	56,4	3,77	1,13	3,55	1,14
6	1.1-3(2)	8267	1500×118×221	73,3	56,4	3,34			
7	1.2-3(1)	32703	1502×121×220	72,3	55,9	3,53	1,03	3,48	
8	1.2-3(2)	32703	1501×119×220	72,3	55,9	3,43			

Примечания: R_m – средняя кубиковая прочность бетона; i – этап нагружения; $P_{on,i}$ – опытная нагрузка на этапе нагружения i ; $f_{on,i}$ – прогиб от опытной нагрузки на этапе нагружения i ; $f_{on,i,cp,j}$ – среднее по партии образцов значение прогиба на этапе нагружения i , где j характеризует щебень в составе бетона по ГОСТ 8267 или 32703.

сечению, полученные для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

Разрушение по наклонному сечению

Сравнительный анализ результатов испытаний аналогичных партий образцов с разным составом бетона при разрушении по наклонному сечению показал следующее.

При средней кубиковой прочности порядка 36 МПа разница между опытными разрушающими нагрузками в парах-близнецах образцов партии 1.2-1 составляет 3%, а в партии 1.1-2 – до 12%. Учитывая, что в остальных образцах этого не наблюдается, такое отклонение можно объяснить некоторой неточностью изготовления каркасов, их незначительным смеще-

нием при установке в опалубку и бетонировании образцов. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что нагрузки для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 3% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. Сравнение фактической несущей способности данных образцов по наклонному сечению с теоретическими значениями, определенными согласно СП 63.13330.2018, показало, что методика СП 63.13330 дает более осторожные значения.

При средней кубиковой прочности около 73 МПа (образцы партий 1.1-4 и 1.2-4) разница между опытными разрушающими нагрузками в парах-близнецах составляет от 3 до 9%. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что нагрузки

Таблица 5
Table 5Сравнение результатов испытаний опытных образцов по прогибам на 10-м этапе нагружений
Comparison of test results of prototypes on deflections at the 10th stage of loading

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	Основные габариты, l×b×h, мм	R_m , МПа	$P_{on,i}$, кН	$f_{on,i}$, мм	откл. $f_{on,i}$ в партии	$f_{on,i,cp, i}$, мм	$\frac{f_{on,i,cp\ 8267}}{f_{on,i,cp\ 32703}}$
1	1.1-1(1)	8267	1505×120×223	37,2	91,9	6,93	0,34	13,7	1,23
2	1.1-1(2)	8267	1499×119×222	37,2	91,9	20,47			
3	1.2-1(1)	32703	1498×121×222	34,9	91,9	7,13	0,47	11,175	
4	1.2-1(2)	32703	1501×120×220	34,9	91,9	15,22			
5	1.1-3(1)	8267	1502×120×220	73,3	92,4	13,63	1,12	12,885	1,13
6	1.1-3(2)	8267	1500×118×221	73,3	92,4	12,14			
7	1.2-3(1)	32703	1502×121×220	72,3	91,9	7,64	0,5	11,43	
8	1.2-3(2)	32703	1501×119×220	72,3	91,9	15,22			

для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 4% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. При этом сравнение опытных и теоретических несущих способностей по наклонному сечению для указанных партий образцов показало, что теоретические значения несколько ниже фактических значений – в среднем на 12%.

В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть весьма хорошую сходимость между опытными результатами и результатами теоретических расчетов, выполненных по методике СП 63.13330.2018 для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703. Независимо от класса бетона по прочности разница экспериментальных значений несущей способности для данных образцов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, не превышает 4%, что в целом можно считать разбросом опытных данных. Теоретические значения соответствующих несущих способностей по наклонному сечению, полученные по методике СП 63.13330.2018 для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

Оценка деформативности

Сравнительный анализ результатов испытаний образцов по прогибам показал следующее. На начальных этапах нагружений отклонения в партиях образцов-близнецов незначительны и не превышают 13% (табл. 4). При средней кубиковой прочности около 36 МПа средние значения прогибов образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 5% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. При средней кубиковой прочности около 72 МПа на начальных этапах прогибы образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 15% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703.

С увеличением нагрузки и приближением ее к разрушающей (табл. 5) отклонения в партиях образцов-близнецов значительно увеличиваются. При средней кубиковой прочности около 36 МПа средние значения прогибов образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 23% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703, а при средней кубиковой прочности около 72 МПа – на 13% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703.

В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть весьма хорошую сходимость между опытными результатами для конструкций, изготовленных из различных бетонов на начальных этапах нагружения (разница 5–14%). При нагрузках, приближенных к разрушающим, разница между опытными значениями прогибов образцов увеличивается до 13–23%, при этом прогибы образ-

цов по ГОСТ 32703 не превышают значений прогибов образцов по ГОСТ 8267.

Независимо от класса бетона по прочности разница экспериментальных значений прогибов для данных образцов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, на начальных этапах нагружения составляет 5–14%. При нагрузках, приближенных к разрушающим, расхождение увеличивается до 13–23%, при этом прогибы образцов со щебнем по ГОСТ 32703 не превышают аналогичных значений у образцов с щебнем по ГОСТ 8267.

Выводы

При оценке прочности изгибаемых элементов по результатам проведенных испытаний образцов установлена весьма хорошая сходимость между опытными результатами, а также опытными данными и результатами теоретических расчетов, выполненными по методике СП 63.13330.2018 для конструкций, изготовленных из тяжелых бетонов классов В25 и В60 с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703.

Разница экспериментальных значений несущей способности для образцов одного проектного класса бетона, имеющего в своем составе щебень по ГОСТ 8267 или ГОСТ 32703, не превышает 3–5%. Теоретические значения соответствующих несущих способностей изгибаемых элементов по нормальному сечению, полученные для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

Анализ оценки прочности наклонных сечений показал, что по результатам проведенных испытаний образцов также наблюдается весьма хорошая сходимость между опытными результатами, а также опытными и результатами теоретических расчетов, выполненных по методике СП 63.13330.2018 для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703. Разница экспериментальных значений несущей способности по наклонным сечениям для образцов одного проектного класса бетона, имеющего в своем составе щебень по ГОСТ 8267 или ГОСТ 32703, не превышает 4%, что в целом можно считать разбросом опытных данных. Теоретические значения соответствующих несущих способностей по наклонному сечению, полученные по методике СП 63.13330.2018 для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

Таким образом, можно заключить, что замена крупного заполнителя, изготовленного по ГОСТ 8267, на заполнитель, изготовленный по ГОСТ 32703, в изгибаемых железобетонных конструкциях практически не оказывает влияния на прочность нормальных и наклонных сечений.

Сравнительный анализ результатов испытаний аналогичных образцов по прогибам при разных со-

ставах бетона показал следующее. В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть весьма хорошую сходимость между опытными результатами для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703.

Для партий образцов одного проектного класса бетона разница экспериментальных значений прогибов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, на начальных этапах нагружения составляет 5–14%. При нагрузках, приближенных к разрушающим, расхождение увеличивается до 13–23%, при этом прогибы образцов со щебнем по

ГОСТ 32703 не превышают аналогичных значений у образцов со щебнем по ГОСТ 8267.

Учитывая полученный разброс опытных данных, в том числе по парам-близнецам внутри партий образцов, и тенденцию к его увеличению с ростом нагрузки, рекомендуется проведение дополнительных более расширенных исследований по оценке влияния бетонов с применением щебня по ГОСТ 32703 на деформативность (прогибы) изгибаемых железобетонных элементов. Также необходимо провести исследования по оценке влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703 на трещиностойкость бетонных и железобетонных конструкций.

Список литературы

1. Прочность, структурные изменения и деформации бетона // Под ред. А.А. Гвоздева. М.: НИИЖБ, Стройиздат, 1978. С. 299.
2. Зошук Н.И. Влияние крупности заполнителя на прочность бетона // *Бетон и железобетон*. 1988. № 1. С. 8–9.
3. Элшин И.М., Мироненко И.И. О пределе применимости гравия для бетона и о переходе на щебень // *Бетон и железобетон*. 1963. № 4. С. 173–176.
4. Сизов В.П. Определение оптимального соотношения фракций щебня // *Бетон и железобетон*. 1968. № 11. С. 28–29.
5. Гордон С.С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М.: Стройиздат, 1969. С. 152.
6. Пеев А., Табаков С., Цановски С. Об оптимальном соотношении фракции крупного заполнителя для бетона // *Бетон и железобетон*. 1971. № 1. С. 45–47.
7. Миронов С.А., Малинский Е.Н., Вахитов М.М. Влияние крупного заполнителя на термоморозостойкость тяжелого бетона в условиях сухого жаркого климата // *Бетон и железобетон*. 1981. № 11. С. 27–28.
8. Гвоздев А.А., Залесов А.С., Титов И.А. Силы зацепления в наклонных трещинах // *Бетон и железобетон*. 1975. № 7. С. 44–45.
9. ISO 565:1990 Test sieves – Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet – Nominal sizes of openings
10. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings
11. ACI 318M-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
12. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. RILEM, 1994. 618p.

References

1. Prochnost', strukturnye izmeneniya i deformacii betona [Strength, structural changes and deformations of concrete]. Edited by A.A. Gvozdev. Moscow: NIIZHB, Stroyizdat. 1978. 299 p.
2. Zoshchuk N.I. The influence of aggregate size on the strength of concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1988. No. 1, pp. 8–9. (In Russian).
3. Elshin I.M., Mironenko I.I. On the limit of applicability of gravel for concrete and on the transition to crushed stone. *Beton i zhelezobeton*. 1963. No. 4, pp. 173–176. (In Russian).
4. Sizov V.P. Determination of the optimal ratio of crushed stone fractions. *Beton i zhelezobeton*. 1968. No. 11, pp. 28–29. (In Russian).
5. Gordon S.S. Struktura i svojstva tyazhelyh betonov na razlichnyh zapolnitelyah [Structure and properties of heavy concrete on various aggregates]. Moscow: Stroyizdat, 1969. 152 p.
6. Peev A., Tabakov S., Tsanovsky S. On the optimal ratio of the fraction of a large aggregate for concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1971. No. 1, pp. 45–47. (In Russian).
7. Mironov S.A., Malinsky E.N., Vakhitov M.M. Influence of a large aggregate on the thermal frost resistance of heavy concrete in a dry hot climate. *Beton i zhelezobeton*. 1981. No. 11, pp. 27–28. (In Russian).
8. Gvozdev A.A., Zalesov A.S., Titov I.A. Engagement forces in inclined cracks. *Beton i zhelezobeton*. 1975. No. 7, pp. 44–45. (In Russian).
9. ISO 565:1990 test sieves – Metal wire cloth, perforated metal plate and electroplating sheet – Nominal hole sizes
10. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and regulations for buildings
11. Requirements of building codes ACI 318M-14 for structural concrete
12. RILEM recommendations on testing and use of building materials. RILEM, 1994. 618