

УДК 624.012

Мирсаяпов Ил.Т. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: mirsayapovit@mail.ru

Фаттахова А.И. – студент

E-mail: fattakhova.alsou@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Технико-экономическая оценка влияния повышения
прочности и выносливости бетона за счет применения высокопрочного бетона
на расход материалов в железобетонных каркасах по серии 1.020-1/83**

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является выявление влияния повышения прочности и выносливости бетона при применении высокопрочного бетона на расход стальной арматуры, а также оценка возможности сокращения объема бетона за счет уменьшения размеров поперечного сечения основных конструктивных элементов железобетонного каркаса по серии 1.020-83/1.

Результаты. Выполнено сравнение материалоемкости основных конструктивных элементов железобетонного каркаса по серии 1.020-83/1 при использовании обычных и высокопрочных бетонов. Были произведены расчеты по 1 ой и 2ой группам предельных состояний, как при стандартных размерах типовых элементов, так и при уменьшении размеров сечения до минимально возможных.

Выводы. Применение высокопрочного бетона В100 вместо В20 и В30 в основных конструктивных элементах железобетонного каркаса по серии 1.020-83/1 приводит к сокращению расхода стали до 2-х раз, уменьшает раскрытие трещин до 2-х раз, а в некоторых элементах и вовсе устраняет возможность образования трещин, а также дает возможность уменьшения размеров поперечного сечения колонн и ригелей, таким образом сокращать и объем бетона на изготовление основных конструктивных элементов каркаса.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, расход арматуры, каркас по серии 1.020-83/1, колонны, ригели.

В настоящее время бетон является основным конструкционным материалом в строительстве. При этом применение высокопрочного бетона в силу своих положительных качеств является наиболее привлекательным. Согласно ГОСТ 25192-2012 [1] к высокопрочным бетонам могут быть отнесены бетоны с классом по прочности при сжатии В55 и более. Высокопрочный бетон получается за счет оптимизации состава и свойств исходных материалов и применения различных добавок [1-10].

Высокопрочный бетон имеет более высокую плотность, водо- и газопроницаемость, высокую морозостойкость, высокую долговечность, повышенную стойкость к химически активным веществам, повышенную коррозионную защиту арматуры и более высокую износостойкость. Такой бетон имеет высокую прочность и выносливость на сжатие и растяжение (табл. 1). Улучшается совместная работа арматуры и бетона, потому что прочность и выносливость анкеровки арматуры растет прямо пропорционально классу (кубиковой прочности) бетона.

Поэтому в современных условиях, характеризующихся все возрастающим объемом применения железобетона и необходимостью рационального расходования ресурсов применение высокопрочных бетонов для изготовления основных несущих конструкций является весьма эффективным. В результате увеличивается несущая способность строительных конструкций, уменьшаются размеры сечений конструкций, сокращается расход бетона и арматуры, уменьшается собственный вес конструкций, а также уменьшаются габариты опалубок несущих конструкций и в целом себестоимость строительства [11-13].

Таблица 1

Выносливость бетона

Вид сопротивления	Классы бетона			
	B20	B30	B60	B100
Осевое сжатие, R_b , МПа	11,5	17	33	86,5
Выносливость бетона на осевое сжатие, R_b , МПа, при $\rho=0,3$	7,1	10,4	20,2	53,1
Осевое растяжение, R_{bt} , МПа	0,9	1,15	1,8	7,8
Выносливость бетона на осевое растяжение, R_{bt} , МПа, при $\rho=0,3$	0,6	0,7	1,1	4,8
Значения начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении $E_b \cdot 10^3$, МПа	27,5	32,5	39,5	41

При этом мелкозернистые высокопрочные бетоны, так называемые песчаные бетоны, по сравнению с крупнозернистыми щебеночными бетонами обладают дополнительными преимуществами. Мелкозернистый (песчаный) бетон имеет более высокий предел прочности на растяжение, прочность сцепления арматуры с песчаным бетоном выше, чем у обычного бетона той же прочности, относительный предел выносливости мелкозернистого бетона на 20 % выше, чем у обычного бетона той же прочности. Это объясняется более однородной структурой и более высокой пластичностью мелкозернистого бетона [11]. Эти дополнительные преимущества высокопрочного песчаного бетона весьма привлекательны для условий Республики Татарстан, потому что дорогостоящий щебень в республику завозится из других регионов России. Применение высокопрочных бетонов при изготовлении железобетонных конструкций дает также значительное сокращение расхода дорогостоящей стальной арматуры, которая также завозится извне.

Указанные выше положительные качества высокопрочного бетона позволяют использовать его в экстремальных и неблагоприятных климатических условиях, сокращая расход на обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Применение высококачественных высокопрочных бетонов наиболее рационально при строительстве высотных зданий и сооружений, атомных электростанций, гидротехнических сооружений, промышленных зданий, крупнопролётных мостов, различных инженерных сооружений, покрытия дорог и т.д.

Внедрение высокопрочных бетонов в строительстве позволяет существенно сократить расходы арматурной стали в железобетонных конструкциях уменьшить габариты конструкции, а, соответственно, и объем бетона. Уменьшение размеров сечения дает возможность изготавливать конструкции под разные нагрузки в формах одного типоразмера, что ведет к сокращению типоразмеров форм. Для того, чтобы показать на конкретном примере экономическую эффективность применения высокопрочных бетонов в строительстве был рассмотрен универсальный межвидовый железобетонный каркас многоэтажных зданий по серии 1-020, который широко применяется в гражданском, промышленном и сельскохозяйственном строительстве, выполненный по типовой серии с применением бетонов B20 и B30, а также – с применением высокопрочного бетона B100. Техничко-экономические показатели составлены на каждый элемент каркаса и на один температурный блок таких зданий. Рассматривался один температурный блок размерами 15×60 м. Сетка колонн (6+3+6)×6 м. При этом рассматривались 2 типа зданий: 1) 5-этажное; 2) 9-этажное. Расчетная полезная нагрузка на перекрытия – 150 кг/м², снеговая – 240 кг/м², собственный вес конструкций учитывался согласно данным серийного альбома. Согласно типу здания и его этажности были определены сечения:

Для 5-ти этажного здания: колонны 300×300 мм высотой 2,8 и 3,3 м, ригели высотой 450 мм, плиты пустотные 1,5×6 м.

Для 9-ти этажного здания: колонны сечением 400×400 мм, 300×300 мм высотой 2,8 и 3,3 м, ригели высотой 450 мм, плиты пустотные 1,5×6 м.

Производился расчет по 1 и 2 группам предельных состояний по нормальным и наклонным сечениям к продольной оси. Диаметр арматуры и классы бетона B20 и B30 определялись в одном случае согласно серии, а в другом – при использовании

высокопрочных бетонов (класс В100). Стоит отметить, что расчет армирования пустотных плит проводился без учета предварительного напряжения, то есть при классе арматуры А400. Данное сравнение приводится для определения необходимости предварительного напряжения при использовании высокопрочных бетонов.

Результаты расчетов сведены в табл. 2-6.

Таблица 2

Характеристики колонн по серийному альбому для обычного бетона В30

Вид здания	Высота колонн, м	Размеры сечения	Гибкость	Эксцентриситет, мм	Диаметр (мм) рабочей арматуры А400	Расход материалов на элемент		
						бетон, м ³	сталь, кг	вес, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5-этажное здание	2,8	300×300	0,107	10	по расчету 22	0,252	36,13	0,66
	3,3	300×300	0,091	10	по расчету 22	0,297	42,10	0,78
9-этажное здание	2,8	400×400	0,133	13,33	по расчету 28	0,448	56,81	1,18
	3,3	400×400	0,121	13,33	по расчету 28	0,528	66,65	1,39
	2,8	300×300	0,107	10	по расчету 22	0,252	36,13	0,66
	3,3	300×200	0,091	10	по расчету 22	0,297	42,10	0,78

Таблица 3

Характеристики колонн для высокопрочного бетона В100

Вид здания	Высота колонн, м	Размеры сечения	Гибкость	Эксцентриситет, мм	Диаметр (мм) рабочей арматуры А400	Расход материалов на элемент		
						бетон, м ³	сталь, кг	вес, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5-ти этажное здание	2,8	300×300	0,107	10	не требуется, конструктивно 16	0,252	20,38	0,65
	3,3	300×300	0,091	10	не требуется, конструктивно 16	0,297	23,53	0,76
	2,8	200×200	0,112	20,38	0,3	0,112	20,38	0,3
	3,3	200×200	0,132	23,53	0,35	0,132	23,53	0,35
9-ти этажное здание	2,8	400×400	0,133	13,33	не требуется, конструктивно 16	0,448	20,38	1,14
	3,3	400×400	0,121	13,33	не требуется, конструктивно 16	0,528	23,53	1,34
	2,8	300×300	0,107	10	не требуется, конструктивно 16	0,252	20,38	0,65
	3,3	300×200	0,091	10	не требуется, конструктивно 16	0,297	23,53	0,76
	2,8	200×200	0,112	20,38	0,3	0,112	20,38	0,3
	3,3	200×200	0,132	23,53	0,35	0,132	23,53	0,35

Таблица 4

Характеристики ригеля по серийному альбому для обычного бетона В30

Вид здания	Высота сечения	Диаметры вид рабочей арматуры по сечениям к продольной оси		прогиб	ширина раскрытия трещин	Расход материалов на элемент		
		нормальным	наклонным			бетон, м ³	сталь, кг	вес, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5-ти этажное здание	450	A400 3Ø22	A240 Ø8	0,82	0,252	1,02	25,16	2,75
9-ти этажное здание	450	A400 3Ø25	A240 Ø8	1,252	0,252	1,02	29,12	2,58

Таблица 5

Характеристики ригеля для высокопрочного бетона В100

Вид здания	Высота сечения	Диаметры вид рабочей арматуры по сечениям к продольной оси		прогиб	ширина раскрытия трещин	Расход материалов на элемент		
		нормальны м	наклонным			бетон, м ³	сталь, кг	вес, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5-ти этажное здание	450	A400 3Ø12	B500 Ø3	0,01	0,00	1,02	18,43	2,57
	350	A400 3Ø12	B500 Ø3	0,02	0,00	0,954	18,43	2,40
9-ти этажное здание	450	A400 3Ø12	B500 Ø3	0,01	0,252	1,02	18,43	2,57
	350	A400 3Ø12	B500 Ø3	0,05	0,00	0,954	18,43	2,40

Таблица 6

Характеристики плит перекрытия и покрытия при использовании бетона согласно серии и при использовании высокопрочных бетонов

Класс бетона	Диаметры вид рабочей арматуры по сечениям к продольной оси		прогиб	ширина раскрытия трещин	Расход материалов на элемент		
	нормальным	наклонным			бетон, м ³	сталь, кг	вес, т
1	2	3	4	5	6	7	8
V30	A400 8Ø14	A240 Ø8	18,43	0,105	1,016	63,902	2,604
V100	A400 8Ø8	не требуется, конструктивно B500 Ø3	10,29	0,094	1,016	36,101	2,576

Как показывают расчеты, элементы, армированные по серии, имеют большой расход арматуры, то есть усилия воспринимаются и бетоном, и арматурой. По расчету, при V100, прочность и жесткость конструктивных элементов, а также трещиностойкость обеспечивается бетоном. При использовании высокопрочного бетона необходимость в арматуре уменьшается или вовсе отпадает, т.е. большая часть армирования назначается конструктивно. Указанные в таблицах диаметры арматуры для высокопрочного бетона назначены согласно конструктивным требованиям СП 63.13330-2012. Для высокопрочных бетонов, очевидно, следует пересмотреть также рекомендуемые диаметры конструктивного армирования в сторону уменьшения.

В колонне при увеличении прочности бетона процент армирования уменьшается в среднем на 14 %. В качестве эксперимента были уменьшены также сечения в пятиэтажном здании до 200×200 мм, а в 9-ти этажной – до 300×300 мм и 200×200 мм. Сечение 200×200 мм является минимально допустимым согласно СП 63.13330-2012. Уменьшение размеров колонн приводит к увеличению их гибкости. Были проведены расчеты на устойчивость. А также определены случайные эксцентриситеты. Устойчивость обеспечивается несмотря на более высокую гибкость. Эти расчеты производились для определения возможности применения данного сечения колонн. Согласно расчетам данные сечения могут быть использованы при проектировании. Особенно эффективным является применение колонн сечения 200×200 мм даже в 9-ти этажных зданиях, где согласно нормам минимальное сечение составляет 400×400 мм. Это приводит к существенной экономии бетона на изготовление колонн.

В ригеле также наблюдается положительный эффект от использования высокопрочного бетона. В 5-ти этажных зданиях арматура не требуется по расчету. В 9-этажных зданиях – арматура также ставится конструктивно, так как меньшие диаметры обеспечивают необходимую несущую способность. Был выполнен расчет по II гр. п.с. Расчетный прогиб в изгибаемых элементах уменьшился на 68 %, а ширина раскрытия трещин уменьшилась, а в некоторых случаях она не образуется за увеличения сопротивления высокопрочного бетона растяжению.

Таблица 7

Расход бетона и стали на один температурный блок

Вид здания	Класс бетона	Бетон, м ³	Сталь, кг	Экономия		Экономия тыс. руб
				Бетон, м ³	Сталь, кг	
1	2	3	4	5	6	7
5-этажное здание	B30	1507,59	14023,5	59,37	5024,77	319,04
	B100	1448,22	8998,73			
9-этажное здание	B30	2805,14	35944,2	198,35	19746,49	1176,86
	B100	2606,79	16197,71			

В табл. 7 приводятся технико-экономические показатели для одного температурного блока здания в целом. При расчете использовались данные для бетона В30 по типовой серии 1.020 для колонн высотой 3,3 м и сечением 300 мм для 5-ти этажного здания, 400 мм – для 9-ти. Для высокопрочных бетонов принималось сечение 200мм. В ригелях также рассматривалось уменьшенное сечение при использовании высокопрочных бетонов. Небольшое уменьшение веса каждого элемента приводит к значительному уменьшению затрат материалов. Ярче всего данный эффект заметен на примере колонн, где вес уменьшился в среднем на 49 %.

Вывод

Использование высокопрочного бетона дает реальный экономический эффект, так как сокращается расход бетона и арматуры, уменьшается вес элементов каркаса; уменьшение веса изделий уменьшает транспортные расходы, позволяет применять краны меньшей грузоподъемности, а, следовательно, уменьшаются и трудозатраты по монтажу железобетонных конструкций.

Список библиографических ссылок

1. Морозова Н. Н., Хамза Абдулмаек Кайс. Получение высокопрочного мелкозернистого бетона с использованием природного цеолита // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 185–193.
2. Хамза Абдулмаек Кайс, Морозова Н. Н. Высокопрочный мелкозернистый бетон с использованием цеолита синайского полуострова Египта : Сб. тезисов международной научно-технической конференции «Высокопрочные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016)» / КГАСУ. Казань, 2016. С. 85.
3. Inozemcev A. S., Korolev E. V. A method for the reduction of deformation of high-strength lightweight concrete // Advances in Cement Research. 2016. Vol. 28. Iss. 2. P. 92–98.
4. Inozemcev A. S., Korolev E. V., Smirnov V. A. Nanoscale modifier as an adhesive for hollow microspheres to increase the strength of high-strength lightweight concrete // Structural Concrete. 2017. Vol. 18, Iss. 1. P. 67–74.
5. Mehta P. K., Monteiro P. J. M. Concrete. Microstructure, Properties and Materials. New York : McGraw-Hill, 2006. 683 p.
6. Sarkar V. I., Baalbaki M. The influence of the type of cement on the properties and microstructure of high performance concrete // Proceedings of 9th ICCS. 1993. Vol. 5. P. 89–941.
7. Older I. Special inorganic cements. London-New York : E & FN Spon, 2000. 390 p.
8. Kato H., Katumero R., Ushiyama H. Properties of the high-strength concrete using belite-rich cement silica fume // Semento Konkurito Ronbunshu. 1997. № 51. P. 364–369.
9. Karepetyan K. A. Problems of durability and theory of concrete. Erevan : Gitutyun publishing house of the NAS RA, 2012. 256 p.
10. Kline Sami A. Aggregates, elastic modulus and Poissons ratio of concrete // J. Amer. Coner. Inst. 1986. № 6. P. 961–965.

11. Мирсаяпов Ил. Т., Тамразян А. Г. Основы повышения эффективности применения высокопрочных бетонов в конструкциях промышленных зданий при действии поперечных сил // Бюллетень строительной техники. 2017. № 1. С. 52–57.
12. Mirsayapov Il. T. Detection of Stress Concentration Regions in Cyclic Loading by the Heat Monitoring Method // Mechanics of Solids. 2010. Vol. 45. № 1. P. 133–139.
13. Mirsayapov Il. T. A study of stress concentration zones under cyclic loading by thermal imaging method // Strength of Materials. 2009. Vol. 41. № 3. P. 339–344.

Mirsayapov Il.T. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: mirsayapovit@mail.ru

Fattakhova A.I. – student

E-mail: fattakhova.alsou@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Technical and economic assessment of the concrete's
strength and endurance increasing effect due to the high-strength concrete
using for the materials consumption in reinforced concrete frames
according to the series 1.020-1/83**

Abstract

Problem statement. The purpose of the work is to identify the effect of the concrete strength and endurance increasing in high-strength concrete using on the consumption of steel reinforcement, as well as assessing the possibility of reducing the concrete per set volume to reduce the reinforced concrete frame's main structural elements cross-sectional dimensions in the series 1.020-83/1.

Results. A comparison of the material intensity of the main structural elements of the reinforced concrete frame on the series 1.020-83/1 is made using conventional and high-strength concretes. The calculations were performed for the 1st and 2nd groups of limiting states, both for standard sizes of typical elements and for reducing the cross-sectional dimensions to the minimum possible.

Conclusions. The use of high-strength concrete B100 instead of B20 and B30 in the basic structural elements of the reinforced concrete frame on the series 1.020-83/1 reduces the consumption of steel 2 times, reduces the crack opening up to 2 times, and in some cases eliminates the possibility of cracks, and also makes it possible to reduce the dimensions of the cross-section of columns and crossbars, thus reducing the volume of concrete for making the basic structural elements of the frame.

Keywords: high-strength concrete, the expense of armature, a frame on a series 1.020-83/1, columns, crossbars.

References

1. Morozova N. N., Khamza Abdulmayek Kays. Production of high-strength fine-grained concrete using natural zeolite // Izvestiya KSUAE. 2016. № 2 (36). P. 185–193.
2. Khamza Abdulmayek Kais, Morozova N. N. High-strength fine-grained concrete with the use of the zeolite of the Sinai peninsula of Egypt : Theses of the international scientific and technical conference «High-strength concrete6 technologies, structures, economy (VBB-2016)» / KSUAE. Kazan, 2016. P. 85.
3. Inozemcev A. S., Korolev E. V. A method for the reduction of deformation of high-strength lightweight concrete // Advances in Cement Research. 2016. Vol. 28. Iss. 2. P. 92–98.

4. Inozemcev A. S., Korolev E. V., Smirnov V. A. Nanoscale modifier as an adhesive for hollow microspheres to increase the strength of high-strength lightweight concrete // *Structural Concrete*. 2017. Vol. 18, Iss. 1. P. 67–74.
5. Mehta P. K., Monteiro P. J. M. *Concrete. Microstructure, Properties and Materials*. New York : McGraw-Hill, 2006. 683 p.
6. Sarkar V. I., Baalbaki M. The influence of the type of cement on the properties and microstructure of high performance concrete // *Proceedings of 9th ICCI*. 1993. Vol. 5. P. 89–941.
7. Older I. *Special inorganic cements*. London-New York : E & FN Spon, 2000. 390 p.
8. Kato H., Katumero R., Ushiyama H. Properties of the high-strength concrete using belite-rich cement silica fume // *Semento Konkurito Ronbunshu*. 1997. № 51. P. 364–369.
9. Karepetyan K. A. *Problems of durability and theory of concrete*. Erevan : Gitutyun publishing house of the NAS RA, 2012. 256 p.
10. Klinc Sami A. Aggregates, elastic modulus and Poissons ratio of concrete // *J. Amer. Coner. Inst.* 1986. № 6. P. 961–965.
11. Mirayapov Il. T., Tamrazyan A. G. The fundamentals of increasing the effectiveness of the use of high-strength concrete in the construction of industrial buildings under the action of transverse forces // *Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2017. № 1. P. 52–57.
12. Mirsayapov Il. T. Detection of Stress Concentration Regions in Cyclic Loading by the Heat Monitoring Method // *Mechanics of Solids*. 2010. Vol. 45. № 1. P. 133–139.
13. Mirsayapov Il. T. A study of stress concentration zones under cyclic loading by thermal imaging method // *Strength of Materials*. 2009. Vol. 41. № 3. P. 339–344.