

УДК 691.328:603/95

Е. А. ДМИТРЕНКО, Т. О. ГРАНИНА, В. Р. ДЕМЕРЗА
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО
БЕТОНА НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ**

Аннотация. В статье выполнена количественная оценка эффективности использования высокопрочных бетонов в строительстве на примере несущих конструкций каркаса торгово-развлекательного центра. В ПК «Лира-САПР» построены три различных варианта расчетных пространственных моделей для монолитного каркасного здания с учетом изменения поперечных сечений элементов и класса бетона по прочности. Для рассмотренных вариантов конструирования составлен сметный расчет стоимости возведения каркаса здания и определен экономический эффект для конструктивных схем с применением для несущих конструкций обычного тяжелого и высокопрочного бетонов.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, тяжелый бетон, железобетон, экономическая эффективность, расчетная схема, конечноэлементный анализ, каркасное здание.

Конец XX века ознаменован значительными достижениями в области исследования и применения бетона. Учёные получали всё больше информации о свойствах бетона, его структуре и научились получать от бетона те свойства, которые были нужны в каждой конкретной ситуации, путём усовершенствования состава бетона различными присадками и добавками минерального или химического происхождения.

Особо ощутимый рывок произошел после внедрения НРС (High Performance Concrete) – бетонов с высокими эксплуатационными свойствами. Они отличаются высокой технологичностью, долговечностью, прочностью, высоким сопротивлением истираемости, низкой абсорбирующей и высокими влагозащитными свойствами, а также высокой химической устойчивостью и низкой усадкой [3, 10, 11, 12].

Научно-технический прогресс не стоит на месте, темп жизни современного человека постоянно ускоряется. В связи с чем растут и потребности человека, его требования к комфортности жилья, быта, отдыха и досуга. Все больше и больше требуется для комфорта человека, благодаря этому города неустанно растут. А вместе с этим встает необходимость в ускорении темпов строительства, а также повышения качества возводимых зданий. Актуальность данной тематики обусловлена поиском экономической эффективности применения новых материалов при возведении зданий. Используя высокопрочные бетоны в строительстве гражданских зданий, можно достичь значительного увеличения несущей способности бетона, а как следствие, уменьшения площади поперечного сечения арматуры в конструкции и площади поперечного сечения железобетонных элементов в целом. Что, в свою очередь, приведёт к значительному уменьшению собственного веса здания, а следовательно, снизит нагрузку на все вертикальные элементы и фундамент. Также применение высокопрочных бетонов позволит создавать здания с долгим периодом эксплуатации, который зависит напрямую от прочности бетона и низкого показателя паро- и водонепроницаемости [1, 2, 4, 8, 9].

Появление высокопрочного бетона открыло новые возможности в строительстве, благодаря чему было реализовано множество уникальных проектов по всему миру. К примеру, из высокопрочного бетона с кубиковой прочностью 120 МПа в Португалии был построен мост Васко де Гама с 830 метровым центральным пролетом (рис. 2). Также достаточно интересными объектами стали башни-близнецы «Петронас» в Куала-Лумпуре (самый высокий в мире сдвоенный небоскреб) (рис. 1, а) и небоскреб в Тайвани Тайбэй 101 (рис. 1, б) [2].

© Е. А. Дмитренко, Т. О. Гранина, В. Р. Демерза, 2019

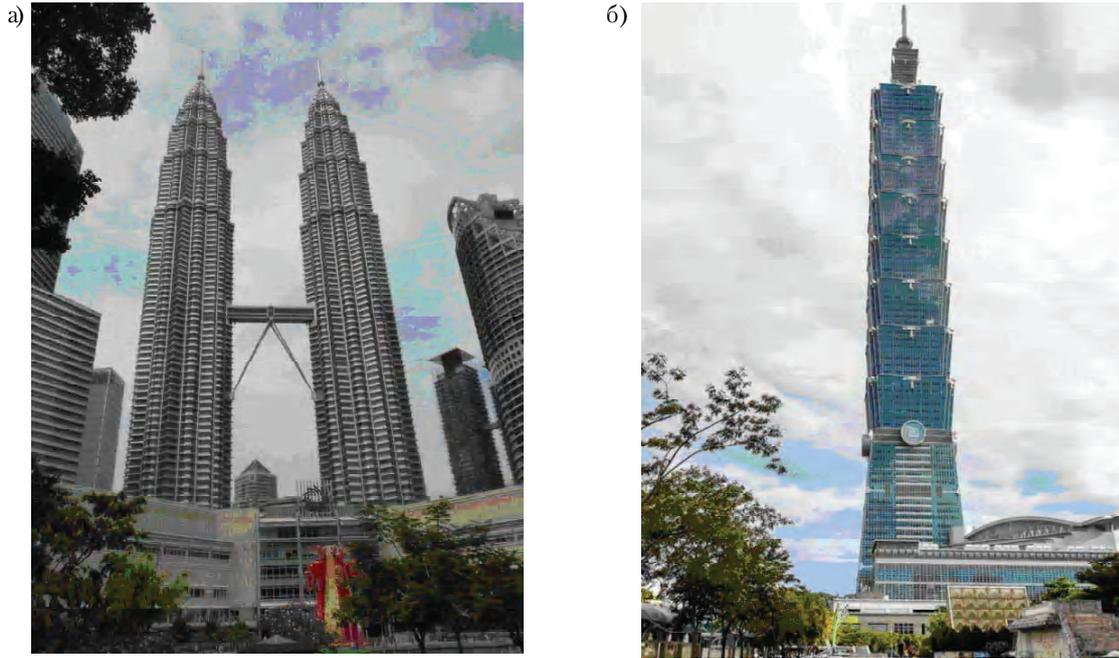


Рисунок 1 – Примеры высотных зданий, построенных с применением высокопрочных бетонов: а) Башни «Петронас», Куала-Лумпур; б) Тайбэй 101, Тайвань.



Рисунок 2 – Мост Васко де Гама, Португалия.

Целью исследования является определение количественных показателей эффективности применения высокопрочных бетонов в сжатых и изгибаемых элементах на примере каркасного здания торгово-развлекательного комплекса.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

- выбор материалов и подбор рациональных размеров поперечных сечений конструкций;
- формирование расчётной схемы с учётом особенностей проектирования конструкций из высокопрочных бетонов;
- конструирование элементов из обычного тяжелого бетона и бетона высокой прочности;
- анализ использования материалов при применении различных видов тяжелого бетона с оценкой стоимости.

Объект исследования представляет собой каркасное здание из монолитного железобетона (рис. За, б). Фундаментом служат отдельно стоящие столбчатые фундаменты под отдельно стоящие

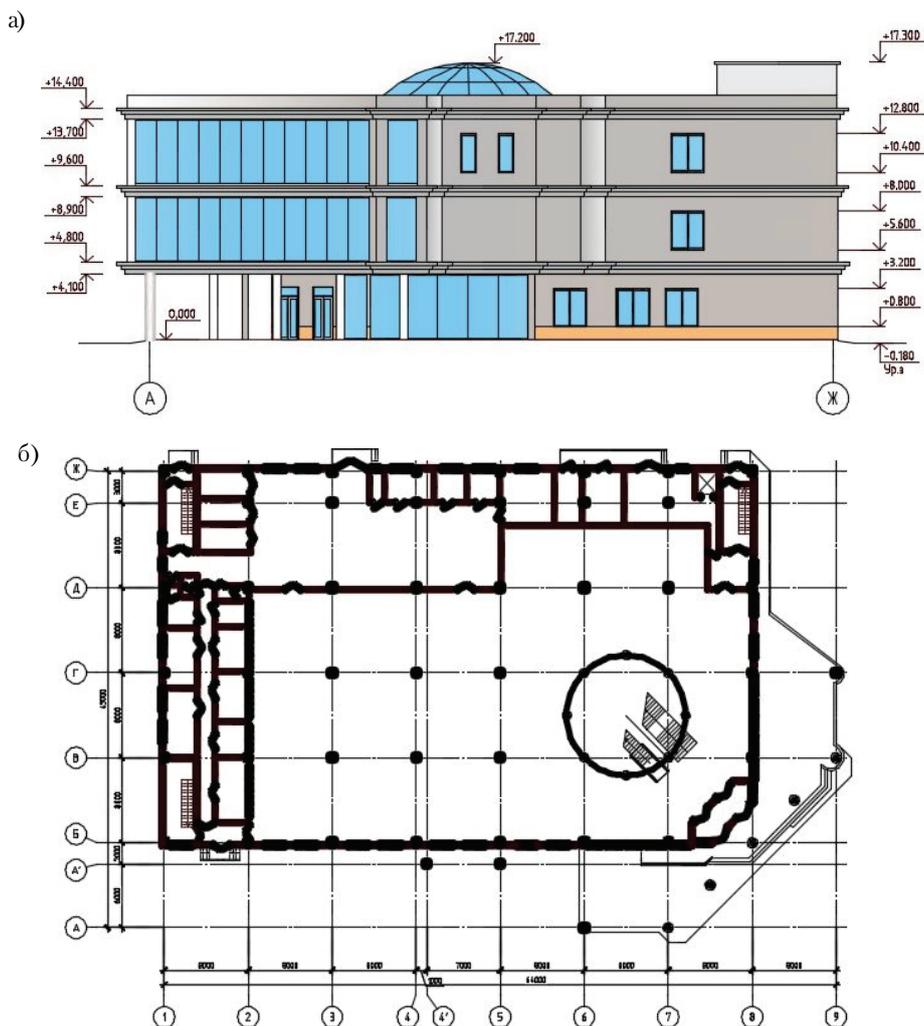


Рисунок 3 – Объёмно-планировочное решение проектируемого здания: а) фасад; б) план.

колонны (К) с подколонником сплошного сечения. В качестве вертикальных несущих элементов приняты монолитные колонны на 2 и на 3 этажа, расположенные по сетке осей с шагом 8×8 м. Перекрытия – монолитные железобетонные ребристые с главными балками (ГБ) вдоль буквенных осей и второстепенными балками (ВБ) вдоль цифровых осей. Толщина монолитной плиты (МП) составляет 70 мм, шаг второстепенных балок принят 2 м, шаг главных балок – 8 м. Конструкция покрытия для эксплуатируемых и неэксплуатируемых участков кровли принята аналогичная конструкциям перекрытий. На пересечении буквенных осей В, Г с осями 6, 7 в плите имеется отверстие под эскалаторы и лестницы. Отверстие опоясано монолитной радиальной балкой. Наружные стены – кладка из газобетонных блоков, облицованных вентилируемыми фасадами.

Для получения данных о целесообразности применения высокопрочного бетона были рассмотрены 3 варианта расчётной пространственной схемы данного здания (рис. 4) при помощи ПК «Лири» и AutoCAD. Для построения данных схем использовался метод «импорта поэтажных планов из файлов .dxf».

Расчет пространственного каркаса произведен в упругой постановке задачи с учетом действия всех постоянных и временных нагрузок, сформированы таблицы РСУ и РСН. В рамках исследования варьировались следующие параметры: класс бетона по прочности на сжатие и размеры поперечных сечений в зависимости от величины усилий, возникающих в элементах, для достижения экономического эффекта. Основные отличительные характеристики трех схем сведены в таблицу 1.

В результате проведенных расчетов [5, 6, 7] были определены усилия в элементах и найдена требуемая площадь арматуры для армирования сжатых (колонны) и изгибаемых (главная и второстепенная балки) элементов. Уменьшение размеров поперечных сечений элементов существенно отразилось на снижении собственного веса конструкций, и как следствие, на снижении усилий как в изгибаемых, так и в сжатых элементах каркаса.

рама изменённая ВОО СП.3д

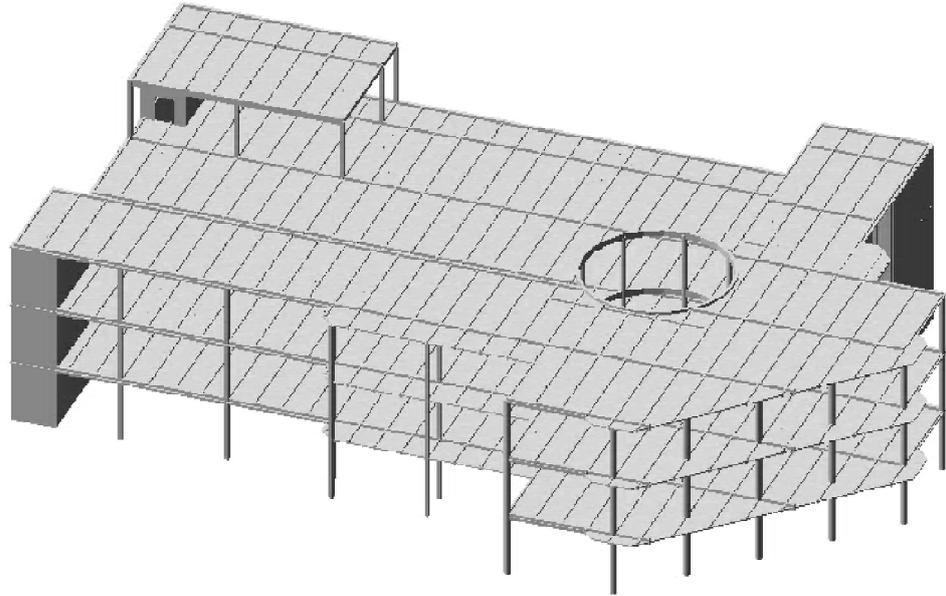


Рисунок 4 – Пространственная модель каркасного здания в ПК «Ли́ра-САПР» (общий вид).

Таблица 1 – Размеры и материалы основных конструктивных элементов здания

Схема	Сечения элементов				Характеристики материалов		
	МП, мм	ВБ, мм	ГБ, мм	К, мм	Класс арматуры		Класс бетона
					Продольн.	Поперечн.	
1	2	3	4	5	6	7	8
№ 1	70	150×400h	250×600h	400×400	A400	A240	B25
№ 2		150×400h	250×600h	400×400			B80
№ 3		150×350h	250×500h	300×300			B80

Для удобства анализа расхода арматуры на все конструкции для трех схем (рис. 5) сведем данные в таблицы 2а, 2б.

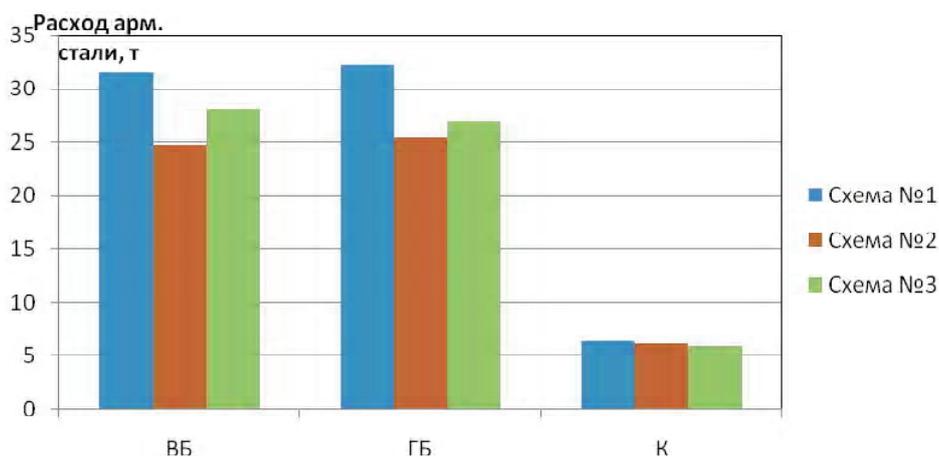


Рисунок 5 – Расход арматуры на каркас для рассматриваемых конструктивных схем здания.

В результате конструирования сечений элементов строительных конструкций выявлено, что применение более высокого класса бетона позволяет уменьшить расход арматурной стали в схеме № 2

Таблица 2а – Расход арматуры на все балки по зданию

Рассматриваемый вариант конструирования	Расход арматуры			
	Второстепенная балка		Главная балка	
	Абсолютная величина, т	Относительная величина, %	Абсолютная величина, т	Относительная величина, %
1	2	3	4	5
Схема № 1	31,51	100	32,17	100
Схема № 2	24,72	78,45	25,38	78,89
Схема № 3	28,10	89,17	26,93	83,71

Таблица 2б – Расход арматуры на все колонны по зданию

Рассматриваемый вариант конструирования	Расход арматуры		Процент армирования
	Абсолютная величина, т	Относительная величина, %	
1	2	3	4
Схема № 1	6,40	100	0,64
Схема № 2	6,19	96,72	0,50
Схема № 3	5,97	93,30	0,89

по сравнению со схемой № 1: в главных и второстепенных балках на 11,5 %, в колоннах – почти на 5 %. А схема № 3 показала снижение расхода бетона (за счет уменьшения размеров поперечных сечений), и при этом также удалось снизить расход арматуры по сравнению с 1-й схемой.

Для оценки экономического эффекта применения высокопрочных бетонов были составлены три сметы на возведение каркаса здания с учетом изменения расхода бетона и арматуры во всех трех схемах. По результатам произведенных расчетов определена стоимость возведения вариантов каркаса (рис. 6), трудоемкость и продолжительность монтажа, подсчитан экономический эффект. Данные сведены в таблицу 3.

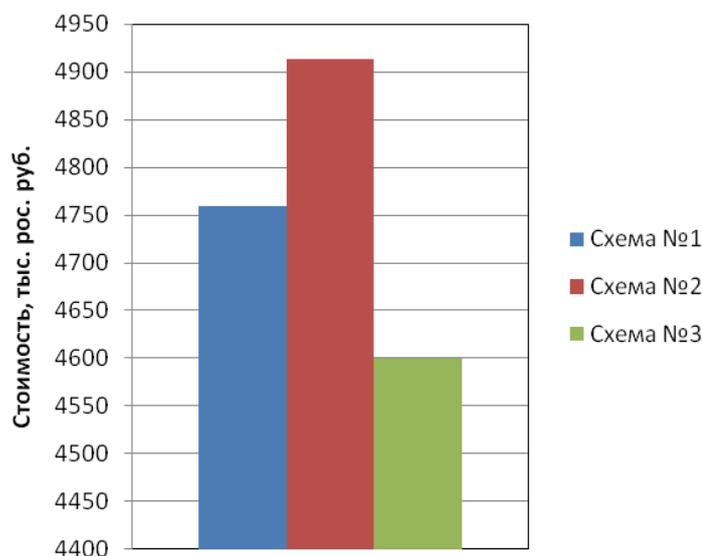


Рисунок 6 – Стоимость возведения каркаса здания (тыс. руб.).

Для рассмотренных в исследовании конструктивных схем была определена сметная стоимость строительно-монтажных работ на возведения каркаса здания.

Применение высокопрочного бетона дает экономический эффект по сравнению с обычным бетоном, несмотря на разницу в стоимости материалов (цена готового бетона В25 составляет 3 200 руб/м³; бетона В80 – 5 000 руб/м³). В расчете на запроектированное здание экономический эффект составляет:

Таблица 3 – Основные экономические показатели возведения каркаса здания

Схема	Трудоемкость, чел.-дн.	Продолжительность монтажа, дн.	Стоимость, тыс. рос. руб.
1	2	3	4
Схема № 1	744	124	4 759,053
Схема № 2	699	117	4 913,438
Схема № 3	641	107	4 600,634

$$\mathcal{E}_{1-2} = 4\,777,83 - 4\,940,52 = -162,69 \text{ тыс. руб.}$$

$$\mathcal{E}_{1-3} = 4\,777,83 - 4\,617,71 = 160,12 \text{ тыс. руб.}$$

ВЫВОДЫ

Для анализа эффективности применения высокопрочных бетонов был выполнен статический расчёт пространственной схемы здания для трёх вариантов конструирования монолитных железобетонных конструкций в ПК «Лири САПР». Результаты определения усилий в конструкциях каркаса здания свидетельствуют о том, что увеличение класса бетона, наряду с уменьшением размеров поперечных сечений балок и колонн, привело к снижению усилий:

- во второстепенной балке изгибающие моменты (M_y) снизились на 3,2 %; поперечная сила (Q_z) – 5,8 %; а продольная сила (N) – на 58,4 %.
- в главной балке значения изгибающих моментов снизились на 8,9 %, поперечных сил – на 8,3 %, а продольных сил на 61,2%.
- в колонне величина моментов M_y уменьшается на 35,8 %, M_z – на 37,9 %, а продольная сила N снизилась на 11,1 %.

Применение высокопрочного бетона для конструкций монолитного железобетонного каркаса позволило уменьшить размеры сечений балок и колонн без снижения несущей способности элементов и эксплуатационной пригодности здания в целом, что позволило существенно снизить капитальные вложения в производство строительных конструкций и материалов, а также сроки возведения здания. Экономический эффект для конструктивных схем № 2 и № 3 по сравнению с исходной схемой № 1 составил –162,69 тыс. руб. (т. е. конструктивная схема № 2 с применением высокопрочного бетона при сохранении исходных размеров сечений конструкций, несмотря на незначительное сокращение сроков возведения каркаса, оказалась более дорогостоящей), и 160,12 тыс. руб. соответственно. Продолжительность монтажа каркаса уменьшилась на 5,65 % (7 смен) и на 13,71 % (17 смен) для схем № 2 и № 3 по сравнению со схемой № 1.

Применение тяжёлых высокопрочных бетонов для монолитного строительства является эффективным решением с учетом требований норм конструирования, так как помимо снижения расхода бетона, наблюдается снижение расхода арматурной стали на объект в целом, что в свою очередь позволяет значительно снизить собственный вес каркаса здания и нагрузку на основание при сохранении общей несущей способности конструкций, и как результат, приводит к снижению стоимости возведения каркаса и сокращению сроков строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батраков, В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы [Текст] / В. Г. Батраков // Строительные материалы. – № 10. – 2006. – С. 4–7.
2. Волков, А. С. Прочность и деформации железобетонных элементов из высокопрочного бетона с учетом длительности нагружения и неравномерного нагрева до +200 °С [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.01 / Волков Андрей Сергеевич. – Макеевка : ДонНАСА, 2010. – 220 с.
3. Зайченко, Н. М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой [Текст] : монография / Н. М. Зайченко. – Макеевка : ДонНАСА, 2009. – 207 с.
4. Зайченко, Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития [Текст] : учебно-справочное пособие / Н. М. Зайченко. – Донецк : [б. и.], 2017. – 474 с.
5. СП 6313330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст] : актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 ; введ. 2013-01-01. – М. : Министерство регионального развития, 2011. – 161 с.

6. СП 311.1325800.2017 Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования [Текст]. – Введ. 2018-05-10. – М. : Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2017. – 27 с.
7. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.01.07.-85* ; введ. 2011-05-20. – М. : Министерство регионального развития, 2011. – 96 с.
8. Hoff, G. C. The Use of Lightweight Fines for Internal Curing of Concrete [Текст] / G. C. Hoff // Report prepared for Northeast Solite Corporation. – Mississippi, Clinton : Hoff Consulting LLC. – 2002. – 44 p.
9. Pease, B. J. The role of shrinkage-reducing admixtures on shrinkage, stress development, and cracking [Текст] / Bradley J. Pease // Thesis for the Degree of Master of Science in Civil Engineering submitted to the Faculty of Purdue University ; (Indiana, May 2005), 2005. – P. 217.
10. Performance and Mechanism of a Multi-Functional Superplasticizer for Concrete [Текст] / Q. Ran, C. Miao, J. Liu, S. Wu, J. Shen // Materials Transactions. – 2006. – Vol. 47. – P. 1599–1604.
11. Project Summary Report 0-4098-S «Use of Innovative Materials to Control Restrained Shrinkage Cracking in Concrete Bridge Decks: A Summary» [Текст] / K. Folliard, C. Smith, M. Brown, G. Sellers // the University of Texas at Austin: Center for Transportation Research. – October 2003. – 4 p.
12. Use of Innovative Materials to Control Restrained Shrinkage Cracking in Concrete Bridge Decks: A Summary [Текст] / K. Folliard, C. Smith, M. Brown, G. Sellers // Project Summary Report 0-4098-S: Use of Innovative Materials to Control Restrained Shrinkage Cracking in Concrete Bridge Decks. – Center for Transportation Research : The University of Texas at Austin, October 2003. – P. 1–4.

Получено 01.03.2019

Є. А. ДМИТРЕНКО, Т. О. ГРАНИНА, В. Р. ДЕМЕРЗА
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО БЕТОНУ
НА ПРИКЛАДІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСНОЇ БУДІВЛІ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті виконано огляд і аналіз досвіду використання високоміцних бетонів у будівництві, а також розглянута історія розвитку високоміцних важких бетонів. У ПК «Ліра-САПР» побудовані три різні варіанти розрахункових просторових моделей для монолітної каркасної будівлі з урахуванням зміни поперечних перерізів елементів і класу бетону за міцністю. Для розглянутих варіантів конструювання складено кошторисний розрахунок і визначено економічний ефект для схем № 2 і № 3 в порівнянні зі схемою № 1.

Ключові слова: високоміцний бетон, важкий бетон, залізобетон, економічна ефективність, модифіковані бетони, каркасна будівля.

EVGENIY DMITRENKO, TATIANA GRANINA, VADIM DEMERZA
THE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF HIGH-
STRENGTH CONCRETE ON THE EXAMPLE OF REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES OF A FRAME BUILDING
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. A quantitative assessment of the effectiveness of the use of high-strength concrete in construction on the example of supporting structures of the frame of the shopping and entertainment center is presented in this article. The three different versions of the spatial models for a monolithic frame building, taking into account resizing of cross sections of the elements and the strength of concrete, using the «Lira-SAPR» software were developed. An estimation of the cost of construction of the building frame and the economic effect for design variations with the use of conventional heavy and high-strength concrete for the supporting structures are been determined for the considered design schemes.

Key words: high strength concrete, heavy concrete, reinforced concrete, economic efficiency, modified concretes, frame building.

Дмитренко Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Гранина Татьяна Олеговна – магистр, ассистент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструирование сборных железобетонных зданий малой этажности с применением легкого бетона.

Демерза Вадим Романович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка эффективности применения высокопрочного бетона на примере железобетонных конструкций каркасного здания.

Дмитренко Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при складних режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Граніна Тетяна Олегівна – магістр, асистент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: конструювання збірних залізобетонних будівель малої поверховості з застосуванням легкого бетону.

Демерза Вадим Романович – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка ефективності застосування високоміцного бетону на прикладі залізобетонних конструкцій каркасної будівлі

Dmitrenko Evgeniy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Granina Tatiana – Master, assistant Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: construction of precast reinforced concrete buildings of small number of floors with the use of lightweight concrete.

Demerza Vadim – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: evaluation of the effectiveness of high-strength concrete on the example of reinforced concrete structures of a frame building.