

---

## **Анализ влияния параметров сетки конечных элементов на результаты подбора продольной арматуры в монолитном безбалочном перекрытии.**

*Н.Б. Аксенов, С.А. Акопян*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** При разбиении безбалочных плит на конечные элементы без использования абсолютно жестких тел с увеличением размера конечного элемента площадь требуемой по расчету опорной арматуры уменьшается, а пролетная арматура от размера конечных элементов не зависит. При использовании в узле сопряжения плиты с колонной абсолютно жесткого тела пролетная арматура уменьшается на 5 - 7%. При применении абсолютно жесткого тела с зоной перехода к полю плиты в виде треугольников в результатах расчета наблюдается увеличение требуемой по расчету арматуры по мере отдаления от грани колонны, что нелогично. Создание зон перехода из прямоугольных конечных элементов улучшает решение, но усложняет схему. Практическую ценность имеет вариант разбиения плиты на конечные элементы с размером равным сечению колонны без использования абсолютных жестких тел.

**Ключевые слова:** безбалочное перекрытие, монолитный каркас, расчет конструкций, Лира-САПР.

В настоящее время при строительстве жилых и общественных зданий весьма популярна конструктивная схема в виде монолитного многоэтажного безбалочного каркаса [1, 2], в том числе и с использованием высокопрочных бетонов [4] и композитных материалов [11]. Расчет таких зданий ведется в настоящее время с использованием современных программных комплексов, базирующихся на использовании метода конечных элементов [3, 5, 6]. Правильность полученного в результате расчета армирования в значительной мере зависит от параметров сетки конечных элементов, моделирующих строительную конструкцию [7,8,9] и в первую очередь в узлах опирания плиты на колонны. Известной проблемой здесь является появление аномально больших значения требуемой по расчету арматуры [10].

В качестве модели для вычислительного эксперимента (рис.1) принят каркас, имеющий следующие основные параметры: шаг колонн 6000 мм; высота этажа 3000 мм; колонны 400x400 мм; плиты толщиной 200 мм; бетон

класса В25; арматура А400; колонны жестко заземлены. На каркас действуют только вертикальные нагрузки – собственный вес и  $q=5$  кН/м<sup>2</sup>. Узел опирания плиты на колонну моделировался как с использованием абсолютно жесткого тела (далее АЖТ), так и без него. Размер АЖТ принят равным сечению колонны. Использованы четыре сетки конечных элементов (далее КЭ), а именно 200x200 мм, 400x400 мм, 500x500 мм и 600x600 мм. Расчет выполнялся в среде ПК ЛИРА-САПР 2015

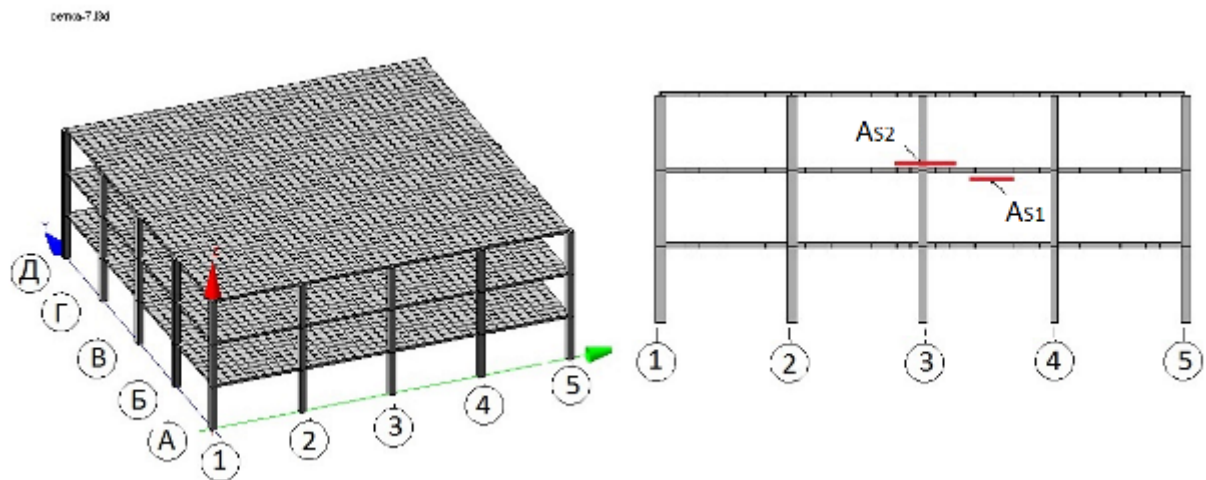


Рис.1. Модель, использованная в вычислительном эксперименте.

Предметом анализа выбрана площадь нижней арматуры ( $A_{S1}$ ) в середине пролета между осями 3 и 4 по оси В и верхняя арматура ( $A_{S2}$ ) над колонной на пересечении осей В и 3 (отмечено красным на рис.1).

Сопоставление полученных результатов (таблица №1) свидетельствует о том, что размер КЭ на пролетную арматуру  $A_{S1}$  влияния практически не оказывает (разница от 2,4% до 3%), а введение в узел АЖТ уменьшает требуемую по расчету пролетную арматуру на 5 – 7%, причем тип использованных вариантов представления зон перехода от АЖТ к плите, влияния не оказывает. На опорную арматуру ( $A_{S2}$ ) влияние АЖТ более существенно. При сетке конечных элементов 200x200 в узле без АЖТ максимальное значение  $A_{S2}$  составляет 21,3 см<sup>2</sup>/м.

Таблица №1

Арматура  $A_{S1}$ ,  $\text{см}^2/\text{м}$ , в середине пролета (средняя для полосы шириной  $L$ )

Сетка, мм	Наличие и тип АЖТ			Ширина полосы $L$ , м
	Нет	АЖТ	2хАЖТ	
200x200	5,35	5,08	-	2,4
400x400	5,39	5,09	5,09	2,4
500x500	5,38	5,06	5,07	2,0
600x600	5,26	4,91	4,94	2,4
200x200	5,64	5,34	-	Размер КЭ
400x400	5,64	5,31	5,30	Размер КЭ
500x500	5,54	5,19	5,20	Размер КЭ
600x600	5,47	5,10	5,13	Размер КЭ

Примечание: тип АЖТ поясняется рисунками рис.2 – рис.5 далее по тексту.

Очевидно, что ориентироваться на это значение нельзя, поскольку оно получено для КЭ, центр тяжести которых расположен в теле колонны (рис.2). В ближайших к колонне КЭ требуется 16,3 и 12,6  $\text{см}^2/\text{м}$  (рис.2,а) и 15,7  $\text{см}^2/\text{м}$  (рис.2,б). Элемент, отмеченный на рис.2,а звездочкой, в реальной конструкции связан с колонной непосредственно, а в расчетной схеме между ним и колонной расположен элемент, по этой причине более корректной представляется схема, изображенная на рис.2,б. Таким образом, при конструировании ориентироваться следует на значение, равное 15,7  $\text{см}^2/\text{м}$ .

При сетке 400x400 без использования АЖТ максимальное значение  $A_{S2}$  составляет 15,6  $\text{см}^2/\text{м}$  (рис.3, а). Это значение соответствует КЭ с центром тяжести расположенном по грани колонны. Введение в узел АЖТ с зоной перехода, состоящей из треугольных КЭ (рис.3, б) приводит к разбросу значений  $A_{S2}$  и увеличению  $A_{S2}$  по мере удаления от грани колонны.

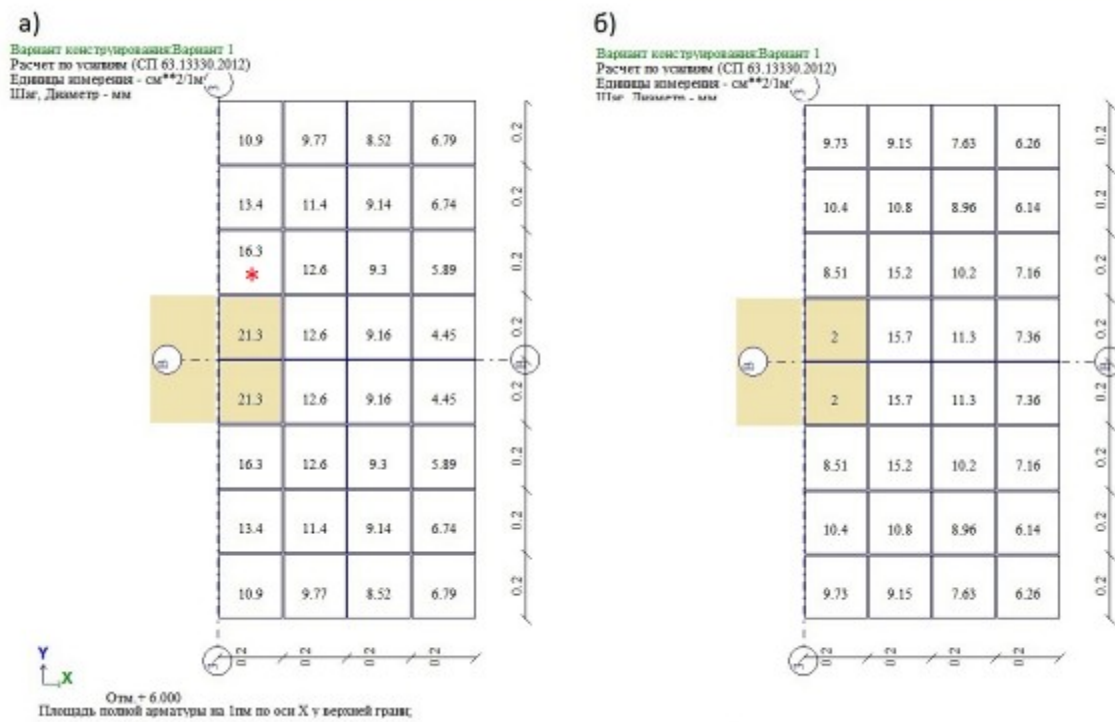


Рис. 2. Сетка 200x200, узел сопряжения: а – без АЖТ; б – с АЖТ.

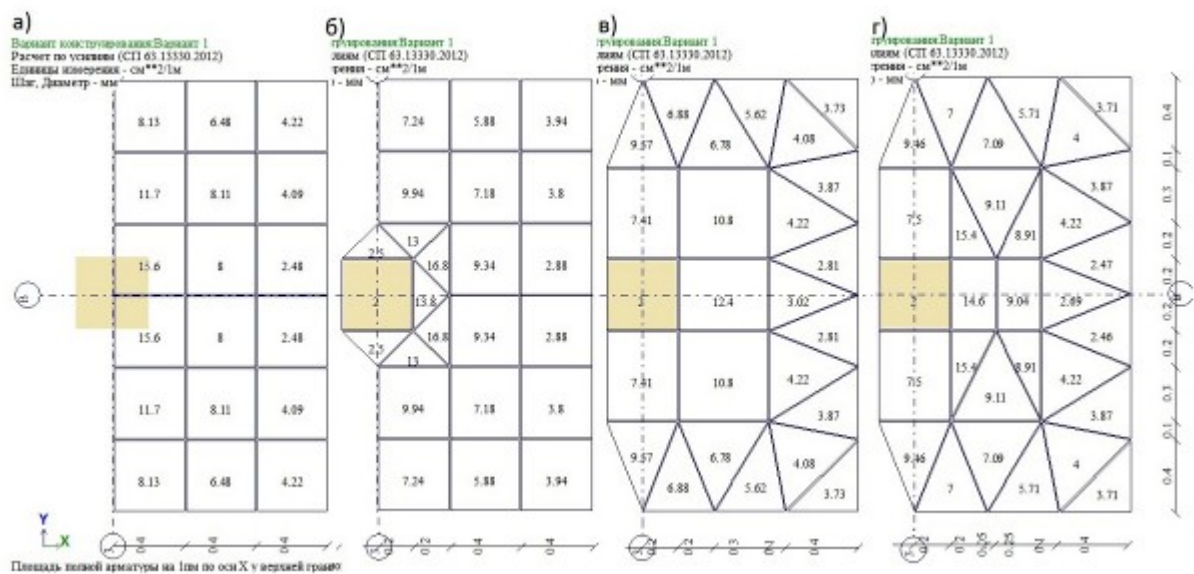


Рис. 3. Сетка 400x400. а – без АЖТ; б – с АЖТ; в – с 2хАЖТ; г – с 3хАЖТ.

Если зону перехода сделать так, чтобы по периметру колонны располагались только прямоугольные КЭ (схема 2хАЖТ на рис.2, в), то максимальное значение  $A_{S2}$  уменьшается до  $12,4 \text{ см}^2/\text{м}$ . Однако, это значение получено для КЭ с центром тяжести, расположенном на расстоянии 250 мм

от грани колонны, что является весьма грубым приближением. Сгущение сетки зоны перехода (схема 3хАЖТ на рис 3, г) дает возможность определить  $A_{S2}$  на расстоянии 66 мм и 100 мм от грани колонны. В результате получаем соответственно  $15,4 \text{ см}^2/\text{м}$  и  $14,6 \text{ см}^2/\text{м}$ .

Для сетки  $500 \times 500$  в узле без АЖТ максимальное значение  $A_{S2}$  составило  $14,2 \text{ см}^2/\text{м}$  (рис.4, а). Это значение на 8,9% меньше чем в аналогичном узле при сетке  $400 \times 400$  (рис.3, а), что можно объяснить разным положением центров тяжести КЭ (при сетке  $400 \times 400$  центр тяжести расположен по грани колонны, а при сетке  $500 \times 500$  на расстоянии 50 мм).

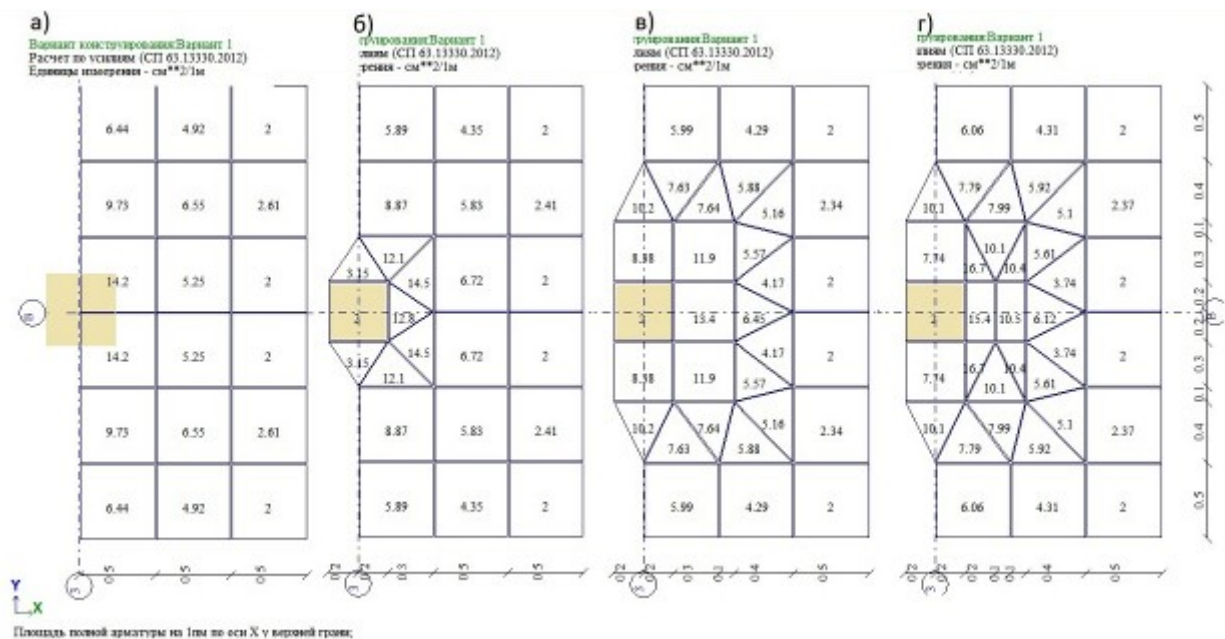


Рис. 4. Сетка  $500 \times 500$ . а – без АЖТ; б – с АЖТ; в – с 2хАЖТ; г – с 3хАЖТ.

Применение АЖТ (рис.4, б) ведет к образованию в зоне перехода треугольных элементов и своеобразному распределению значений  $A_{S2}$ , а именно:  $12,1 \text{ см}^2/\text{м}$  на расстоянии 33 мм,  $12,8 \text{ см}^2/\text{м}$  на расстоянии 100 мм и  $14,5 \text{ см}^2/\text{м}$  на расстоянии 200 мм от грани колонны, то есть к увеличению значений  $A_{S2}$  по мере удаления от колонны. В результате модификации зоны перехода (схема 2хАЖТ на рис.4, в) получаем  $13,4 \text{ см}^2/\text{м}$  на расстоянии 200 мм от грани колонны. Схема 3хАЖТ (рис.4, г) позволяет вычислить площадь



арматуры на расстоянии 66 мм и 100 мм. В этом случае значения  $A_{S2}$  соответственно равны 16,7 и 15,4  $\text{см}^2/\text{м}$ . При сетке 600x600 получены похожие результаты. В узле без АЖТ (рис.5, а) наибольшее значение  $A_{S2}$  равно 12,9  $\text{см}^2/\text{м}$ . Оно меньше чем в сетках 400x400 и 500x500, что можно объяснить разницей положения центров тяжести.

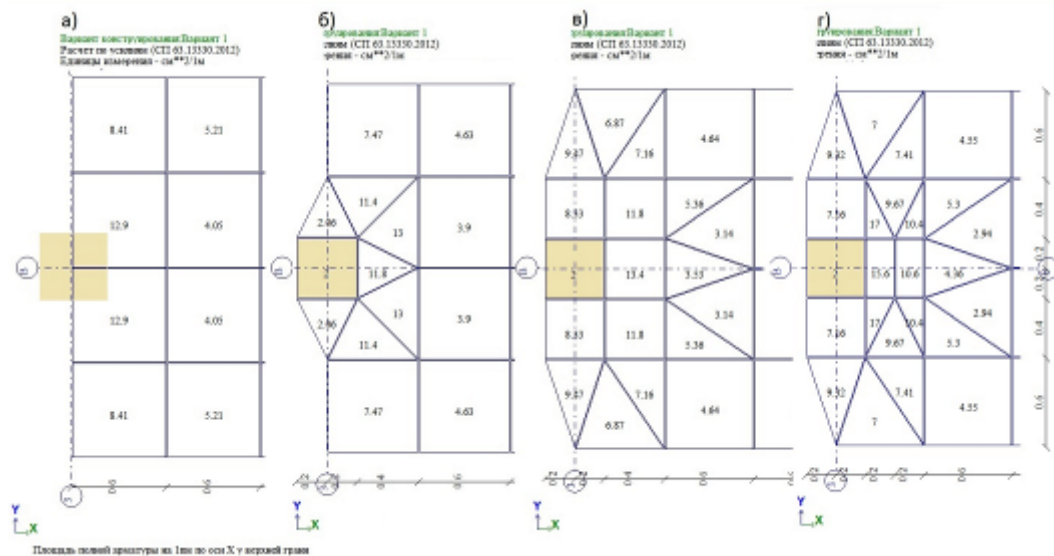


Рис. 5. Сетка 600x600. а – без АЖТ; б – с АЖТ; в – с 2хАЖТ; г – с 3хАЖТ.

При АЖТ с переходной зоной, состоящей из треугольных КЭ (рис.5, б) результаты следующие: 11,4  $\text{см}^2/\text{м}$  на расстоянии 67 мм, 11,8  $\text{см}^2/\text{м}$  на расстоянии 133 мм и 13,0  $\text{см}^2/\text{м}$  на расстоянии 266 мм от грани колонны. В случае переходе от АЖТ к плите с помощью прямоугольных КЭ (схема 2хАЖТ на рис.5, в) требуется 13,4  $\text{см}^2/\text{м}$ . В случае дробления сетки переходной зоны (схема 3хАЖТ на рис.5, г) требуется: на расстоянии от грани колонны, равном 66 мм 17,0  $\text{см}^2/\text{м}$ , а на расстоянии 133 мм 15,6  $\text{см}^2/\text{м}$ . Как видим (таблица №.2) для сеток КЭ без АЖТ справедливо следующее утверждение: с увеличением размера конечного элемента  $A_{S2}$  уменьшается. Во всех сетках с зоной перехода от АЖТ к плите в виде треугольников наблюдается эффект увеличения требуемой по расчету арматуры  $A_{S2}$  по мере отдаления от грани колонны, что на наш взгляд нелогично.

Таблица № 2

Требуемая площадь арматуры  $A_{S2}$ ,  $\text{см}^2/\text{м}$  на расстоянии  $X$  от грани колонны

Вариант сетки и узла	$X$ , мм					
	-100	0,0	33-66	100-133	200	250-266
200x200	16,3	-	-	12,6	-	-
200x200 + АЖТ	-	-	-	15,7	-	-
400x400	-	15,6	-		-	-
400x400 + АЖТ	-	13,0	13,8	16,8	-	-
400x400 + 2хАЖТ	-	-	-		-	12,4
400x400 + 3хАЖТ	-	-	15,4	14,6	-	-
500x500	-	-	14,2		-	-
500x500 + АЖТ	-	-	12,1	12,8	14,5	-
500x500 + 2хАЖТ	-	-	-		13,4	-
500x500 + 3хАЖТ	-	-	16,7	15,4	-	-
600x600	-	-	-	12,9	-	-
600x600 + АЖТ	-	-	11,4	11,8	-	13,0
600x600 + 2хАЖТ	-	-	-	-	13,4	-
600x600 + 3хАЖТ	-	-	17,0	15,6	-	-

Создание зон перехода с прямоугольными конечными элементами, имеющими размеры близкие к размеру АЖТ (тип 2хАЖТ на рис.3, в, рис.4, в и рис.5, в) ведет к заниженным результатам и не может быть признано удачным решением. Вариант перехода от АЖТ к плите с дроблением сетки (типа 3хАЖТ на рис.3, г, рис.4, г и рис.5, г) для прямоугольных конечных элементов дает следующие результаты:  $14,6 \text{ см}^2/\text{м}$ ;  $15,4 \text{ см}^2/\text{м}$  и  $15,6 \text{ см}^2/\text{м}$ , что почти совпадает с вариантом сетки 400x400 без использования абсолютных жестких тел (в этом случае требуемая по расчету площадь арматуры  $A_{S2}=15,6 \text{ см}^2/\text{м}$ ). С учетом сложности представления узлов сопряжения колонн с плитой по типу 3хАЖТ практическое значение имеет вариант разбиения плиты (в узле сопряжения с колонной) на квадратные или

близкие к квадрату прямоугольные конечные элементы, размеры которых совпадают с размерами поперечного сечения колонны.

### Литература

1. Сагадеев Р.А. Современные методы возведения монолитных и сборно-монолитных. 2008. –136с.
2. Сухарева А.В., Аксенов В.Н. Сравнительный анализ эффективности использования кесонных перекрытий SkyDome в современных многоэтажных зданиях при стандартном шаге колонн // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3885](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3885)
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. – М, 2007. – 595 с.
4. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818)
5. А.С. Городецкий, Л.Г. Батрак, Д.А. Городецкий, М.В. Лазнюк, С.В. Юсипенко. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев, 2004. –106 с.
6. ПК ЛИРА-САПР 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. [2016]. URL: [liraland.ru/lira/](http://liraland.ru/lira/)
7. Metin Husem, Selim Pul. Investigation of strain models for confined high strength concrete // «Sadhama» Vol. 32, Part 3, June 2007, pp 243-253. –India.
8. Robert Benaim. The Design of Prestressed Concrete Bridges. Concepts and principles. 2008. –581p.
9. James K. Wight. Reinforced Concrete Mechanics and Design. 2009. –113p.
10. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 538 с.
11. П.П. Польской, Д.Р. Маилян, С.В. Георгиев. О влиянии гибкости стоек на эффективность композитного усиления // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374).



## References

1. Sagadeev R.A. Sovremennyye metody vozvedeniya monolitnykh i sborno-monolitnykh [Modern methods of construction of monolithic and precast-monolithic]. 2008. 136 p.
2. Suhareva A.W., Aksenov W.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3885](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3885)
3. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnosti ih analiza. M, 2007. 595 p.
4. Mkrtychyan A.M., Aksenov V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818/)
5. A.S. Gorodeckij, L.G. Batrak, D.A. Gorodeckij, M.V. Laznjuk, S.V. Jusipenko Raschet i proektirovanie konstrukcij vysotnykh zdaniy iz monolitnogo železobetona. [Calculation and design of construction of high-rise buildings made of reinforced concrete]. Kiev, 2004. 106 p.
6. PK LIRA-SAPR 2016. Proektirovanie i raschet stroitel'nykh konstruktsiy [LIRA-SAPR 2016. Design and calculation of building structures]. URL: [liraland.ru/lira/](http://liraland.ru/lira/).
7. Metin Husem, Selim Pul. Investigation of strain models for confined high strength concrete. «Sadhama» Vol. 32, Part 3, June 2007, pp. 243-253. India.
8. Robert Benaim. The Design of Prestressed Concrete Bridges. Concepts and principles. 2008. 581p.
9. James K. Wight. Reinforced Concrete Mechanics and Design. 2009. 113p.
10. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike [Finite element method in engineering science]. M.: Mir, 1975. 538 p.
11. P.P. Pol'skoj, D.R., Mailjan, S.V. Georgiev. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374)