

К вопросу расчёта арматуры в узле сопряжения безбалочной монолитной плиты с колонной

*Н.Б. Аксенов, А.В. Задорожная, В.М. Трофимова,
Д.Н. Мещерякова, Д.Н. Макагонов
Донской государственной технической университет*

Аннотация: В статье рассмотрены результаты расчёта арматуры в монолитных железобетонных перекрытиях. Предметом исследования является арматура участка плиты, расположенного рядом с колонной. Исследование выполнялось путём постановки вычислительного эксперимента. Моделирование выполнялось в программных комплексах: Revit, Сапфир и Лира-САПР. Приведены характеристики образцов (конечно-элементных схем) вычислительного эксперимента и основные результаты их расчёта в среде ПК Лира-САПР.

Установлено, что для наиболее правильного и экономичного подбора арматуры в моделях без АЖТ шаг триангуляции в плите желательнее принять равным стороне сечения колонны или несколько больше, но не более чем на 15%. При использовании АЖТ область плиты вблизи узла следует моделировать конечными элементами с шагом триангуляции равным половине стороны поперечного сечения колонны.

Ключевые слова: BIM технология, железобетон, перекрытие, триангуляция, конечный элемент, подбор арматуры, Revit, Сапфир, Лира-САПР.

В настоящее время при строительстве жилых и общественных зданий широко используются конструктивные системы с монолитными безбалочными перекрытиями. Расчет таких зданий производится с использованием современных программных комплексов, базирующихся на использовании метода конечных элементов. Расчёт включает создание 3D моделей, что имеет свои преимущества и недостатки [1-2]. Использование физически нелинейных конечных элементов (далее КЭ) с использованием шагово-итерационного метода позволяет оценить реальную живучесть конструктивной системы в экстремальных расчётных ситуациях [3-4]. В настоящее время развитие получили конструкции с композитной арматурой [5] и конструкции из высокопрочных бетонов [6], расчёт которых также может выполняться в программных комплексах конечно-элементного расчёта [7-8]. Очевидно, что результаты расчета и объективность принятых на их основе выводов и решений зависят от правильности выбора типа КЭ,

параметров сетки разбиения рассчитываемой конструкции на КЭ – то есть от адекватности конечно-элементной модели [9–10]. В первую очередь важна правильность разбиения сетки КЭ в узлах опирания плиты на колонны.

В качестве опытного образца для вычислительного эксперимента использовалась КЭ модель фрагмента монолитного перекрытия многоэтажного безбалочного каркаса. Основные параметры модели: шаг колонн 6 м; колонны 0,4x0,4 м; толщина плиты 0,2 м; бетон класса В25; арматура А400. Кроме собственного веса приложена нагрузка 10 кН/м². Схема имеет две оси симметрии – ось «В» и ось 3 (рис.1).

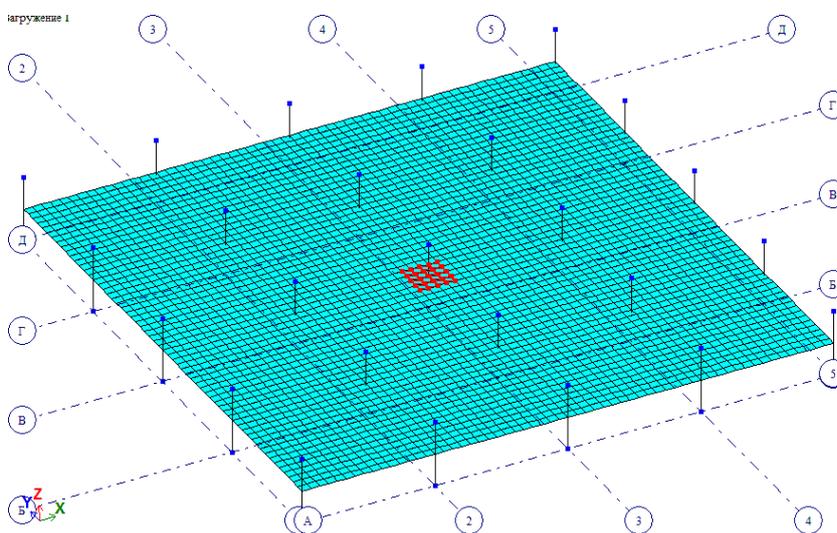


Рис.1. – Модель, использованная в вычислительном эксперименте.

Поскольку площадь арматуры определяется значениями моментов – будем рассматривать их характер изменения. В каждом сечении (рис.2) анализировалась зависимость значения изгибающего момента в плите M_x от расстояния центра тяжести КЭ до грани или ребра колонны.

Рассмотрим распределение моментов M_x при шаге триангуляции 0,4 м (образец №1). При таком шаге центры тяжести четырёх центральных элементов (они обведены рамкой на рис.2) располагаются точно по грани колонны, а точнее в углах поперечного сечения колонны.

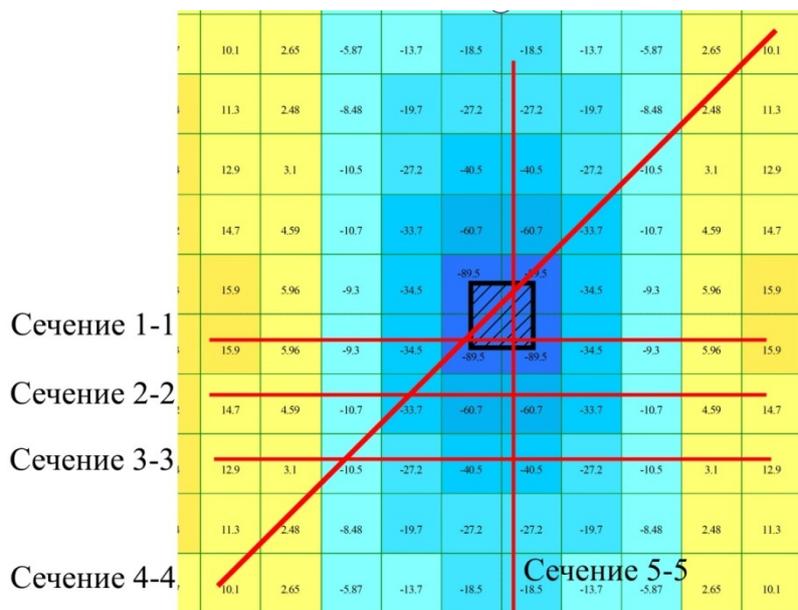


Рис. 2. – Исследуемые сечения на мозаике моментов M_x

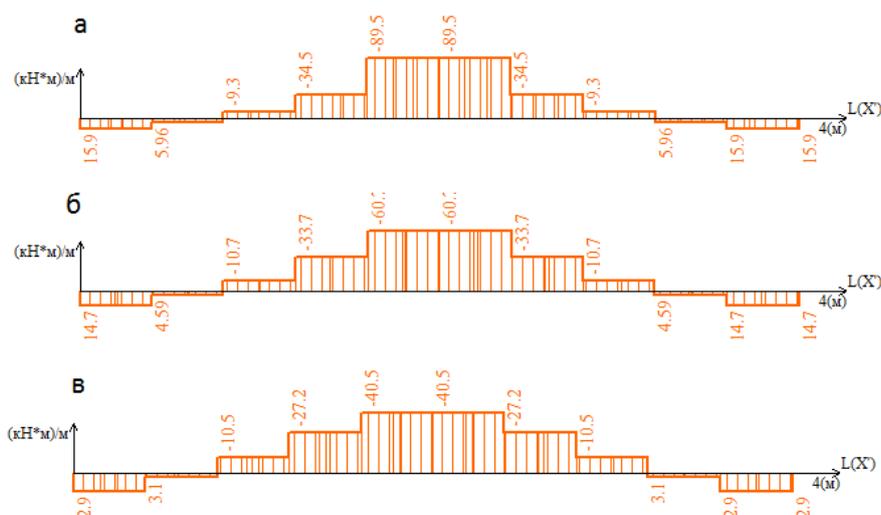


Рис. 3. – Моменты M_x
 а – в сечении 1-1; б – в сечении 2-2; в – в сечении 3-3

Наибольший момент в сечении 1-1 (рис. 3,а), он равен 89,5 (кН*м)/м. При удалении от грани колонны момент уменьшается. Так в конечных элементах, расположенных правее грани колонны на расстоянии 0,4 м и 0,8 м момент M_x уменьшается на 62 % и 90 % соответственно. На расстоянии 1,2 м момент меняет знак.

В сечении 2-2 (рис.3,б) прослеживается та же тенденция. Максимальный момент в этом сечении в конечном элементе, центр тяжести которого расположен на уровне грани колонны, но он меньше, чем в сечении 1-1 и равен 60,7 (кН*м)/м. При удалении центра тяжести конечного элемента от грани колонны на 0,4 м и 0,8 м значение момента уменьшается соответственно на 62 % и 88 %. На расстоянии 1,2 м от грани колонны момент меняет знак.

Максимальный момент в сечении 3-3 (рис. 3,в) равен 40,5 (кН*м)/м, что меньше, чем в сечении 2-2. В конечных элементах, расположенных правее, то есть удалённых от грани колонны на 0,4 и 0,8 м значение момента уменьшается на 70 % и 88 % соответственно. На расстоянии 1,2 м от грани колонны момент меняет знак.

Как видим, максимальный в окрестностях колонны момент имеет место в сечениях, аналогичных сечению 1-1. Очевидно, что при конструировании армирование следует назначать по конечным элементам: во-первых, принадлежащим сечениям, которые проходят через колонну, и, во-вторых, центры тяжести которых совпадают с гранью или ребром колонны, то есть сечениям 1-1, 4-4 и 5-5.

При шаге триангуляции 0,46м (образец №2) центры тяжести центральных элементов располагаются уже не по грани колонны, а на расстоянии 3 см от неё. Характер изменения моментов вдоль сечений аналогичен приведенному на рис.3. В сечении 1-1 момент максимален, он равен 82,42 (кН*м)/м, что на 8 % меньше чем при шаге триангуляции 0,4 м.

При шаге триангуляции 0,55 м (образец №3) центры тяжести центральных элементов располагаются на расстоянии 8 см от грани колонны. Максимальный момент также в сечении 1 – 1, он равен 73,9 (кН*м)/м, что на 17 % меньше соответствующего момента при шаге 0,4 м. По мере удаления от колонны значения момента уменьшаются аналогично эпюрам на рис.3.

Характер распределения моментов M_x при шаге триангуляции 0,67 м (образец №4) такой же, как и в предыдущих образцах. При таком шаге центры тяжести четырёх центральных элементов (рис.2) находятся на расстоянии 14 см от грани колонны, а момент равен 64,2 (кН*м)/м, что на 28 % меньше соответствующего момента при шаге сетки 0,4 м.

В образце №5 (шаг триангуляции 0,86 м) максимальный момент составляет 52,3 (кН*м)/м. Этот момент на 41% больше чем при шаге 0,4 м. Расстояние от грани колонны до центра тяжести конечного элемента с этим моментом равно 23 см.

Таким образом – увеличение шага триангуляции ведёт к занижению опорного момента и площади продольной рабочей арматуры.

В узлах сопряжения плиты с колонной можно разместить абсолютно жёсткое тело (АЖТ) с базовым узлом в центре колонны (рис.4). Размер АЖТ рекомендуют принимать равным поперечному сечению колонны.

Как не совсем удачное решение рассмотрен вариант с шагом триангуляции 40 см (образец №6). Наибольший момент 62,0 (кН*м)/м имеет место в сечении 1-1, проходящем через тело колонны (рис. 4,б и рис. 5,а), что на 31% меньше момента в образце №1. Центр тяжести конечного элемента с этим моментом расположен от грани колонны на расстоянии 40 см.

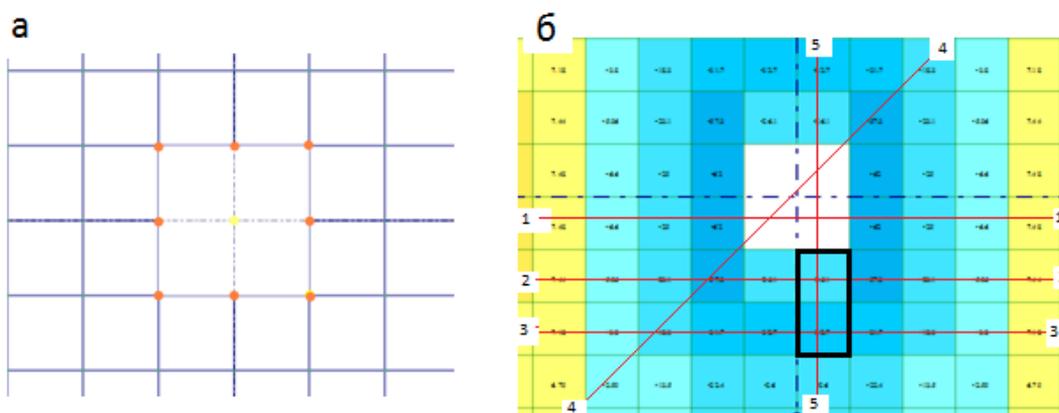


Рис. 4. – Использование АЖТ в месте сопряжения плиты с колонной
а) вид сетки КЭ при шаге 0,4 м; б) мозаика моментов M_x .

Что касается моментов в КЭ, центры тяжести которых находятся на линии, проходящей по грани колонны (отмечены на рис.4,б), их численные значения равны 26,1 (кН*м)/м и 32,7 (кН*м)/м, что меньше момента $M_x=62,0$ (кН*м)/м в образце №1 на 70% и 63% соответственно.

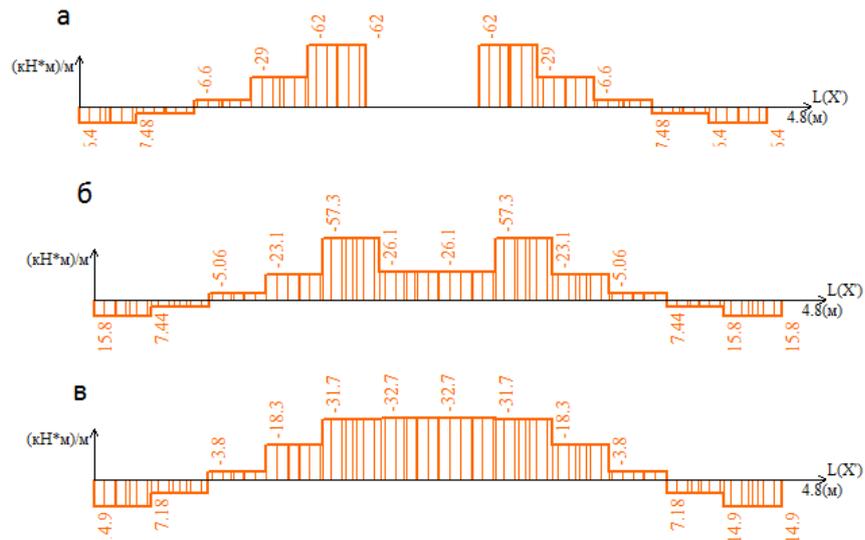


Рис. 5. – Эпюры моменты M_x

а – в сечении 1-1; б – в сечении 2-2; в – в сечении 3-3

В сечении 5 – 5 (рис.6) изгибающие моменты меньше чем в сечениях 1-1 и 2-2 (рис5,а и рис5,б). Таким образом площадь верхней продольной арматуры плиты будет вычислена по моменту $M_x=62,0$ (кН*м)/м, что приведёт к необоснованному уменьшению армирования верхней зоны плиты на 31 %.



Рис. 6. – Моменты M_x в сечении 5-5

В образце №7 размер АЖТ был принят 400x400, то есть равным поперечному сечению колонны, сетка КЭ соответственно принята 0,2x0,2 м. При таком шаге центры тяжести конечных элементов, лежащих выше и ниже

АЖТ (отмечены на рис.7,б), расположены на линиях, проходящих через тело колонны.

В направлении по оси X центры тяжести этих КЭ расположены ближе остальных к узлу (оси колонны) и логично предположить, что наибольшие моменты будут наблюдаться в четырёх примыкающих к АЖТ элементах (два снизу и два сверху). Однако, наибольший момент $M_x=94,5$ (кН*м)/м наблюдается в сечении 1-1 (рис. 8,а). Несмотря на то, что вдоль оси X центр тяжести этого КЭ расположен на расстоянии 10 см от грани колонны, момент в нём превышает аналогичный максимум в образце №1 на 6%. Это вызвано тем, что в направлении оси Y центры тяжести упомянутых элементов расположены на разных расстояниях от оси колонны. В образце №7 это расстояние равно 10 см, а в образце №1 составляет 20 см.

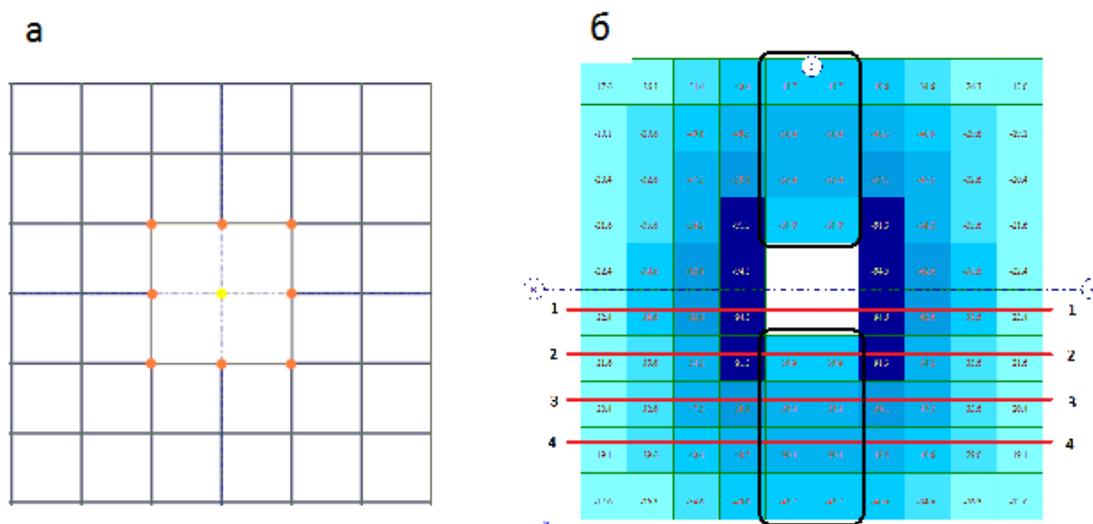


Рис. 7. – Использование АЖТ в месте сопряжения плиты с колонной
 а) вид сетки КЭ при шаге 0,2 м; б) мозаика моментов M_x .

Установлено, что для наиболее правильного и экономичного подбора арматуры в моделях без использования АЖТ шаг триангуляции в плите желательно принять равным стороне сечения колонны или больше этого значения не более чем на 15%, поскольку увеличение размеров конечных элементов ведёт к занижению опорного момента и полученной расчётом

площади продольной рабочей арматуры.

При использовании АЖТ область плиты вблизи узла следует моделировать конечными элементами с шагом триангуляции равным половине стороны поперечного сечения колонны.

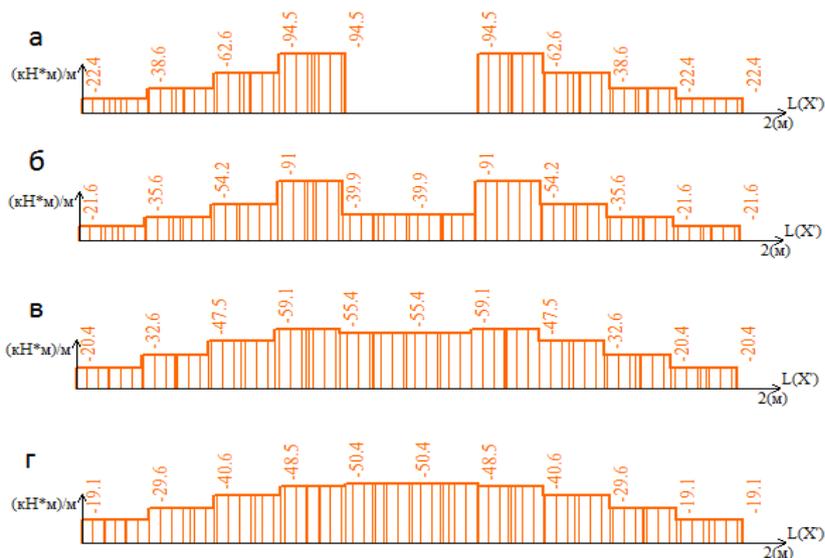


Рис. 8. – Эпюры моменты M_x

а – в сечении 1-1; б – в сечении 2-2; в – в сечении 3-3; г – в сечении 4-4

При таком подходе значение максимального момента, и, следовательно, площадь полученной расчётом арматуры будет выше на 6%, что делает его более предпочтительным, хотя и повышает трудоёмкость создания конечноэлементной схемы.

Литература

1. Петров К.С. Швец Ю.С., Корнилов Б.Д., Шелкоплясов А.О. Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255
2. Burke S.D., Five Standout Features from Autodesk Revit 2017 URL: architectmagazine.com/technology/products/five-standout-features-from-the-newly-released-autodesk-revit-2017. 120 с.



3. Пайюнен С., Хаутала Дж., Хейнисуо М. Моделирование несущих ограждающих конструкций плоскими конечными элементами со свойствами метаматериала // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 2(86). С. 20–29. DOI: 10.18720/MCE.86.3
 4. Радченков А.В., Аксенов В.Н. Методы расчета каркасных зданий из монолитного железобетона на прогрессирующее обрушение на примере 17-этажного жилого дома. // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879
 5. Польской П.П., Маилян Д.Р., Шилов А.А., Шевляков К.В. О результатах предварительного испытания балок на поперечную силу перед композитным усилением. // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3880
 6. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Lopatina Yu.Yu. About influence of superplasticizers and mineral additives on creep factor of hardened cement paste and concrete // Solid State Phenomena. 2017. Vol.265. pp.109-113. URL: doi.org/ 10.4028/scientific.net/SSP.265.109
 7. ПК ЛИРА-САПР 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. [2016]. URL: liraland.ru/lira/
 8. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В.. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев, 2005. –106 с.
 9. Семенов А.А., Овчаров А.А. Математическая модель деформирования ортотропных конических оболочек. // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2383
 10. Зотова Е.В., Панасюк Л.Н. Численное моделирование динамических систем с большим числом степеней свободы на импульсные воздействия. // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933
-

References

1. Petrov K.S., Shvec Ju.S., Kornilov B.D., Shelkopljasov A.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255
2. Burke S.D. Five Standout Features from Autodesk Revit 2017. URL: [architectmagazine.com/technology.products.fivestandoutfeaturesfromthenewlyreleasedautodeskrevit-2017](http://architectmagazine.com/technology/products/fivestandoutfeaturesfromthenewlyreleasedautodeskrevit-2017). 120p
3. Pajjunen S., Hautala Dzh., Hejniso M. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, 2019, № 2(86). DOI: 10.18720/MCE.86.3 pp. 20–29.
4. Radchenkov A.V., Aksenov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879
5. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Shilov A.A., Shevljakov K.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3880
6. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Lopatina Yu.Yu. About influence of superplasticizers and mineral additives on creep factor of hardened cement paste and concrete. Solid State Phenomena. 2017. Vol.265. pp.109-113. URL: [doi.org/ 10.4028/scientific.net/SSP.265.109](https://doi.org/10.4028/scientific.net/SSP.265.109)
7. PK LIRA-SAPR 2016. Proektirovanie i raschet stroitel'nykh konstruktsiy. LIRA-SAPR 2016. Design and calculation of building structures. URL: liraland.ru/lira/.
8. Gorodeckij A.S., Batrak L.G., Gorodeckij D.A., Laznjuk M.V., Jusipenko S.V. Raschet i proektirovanie konstrukcij vysotnyh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona. [Calculation and design of construction of high-rise buildings made of reinforced concrete]. Kiev, 2004. 106 p.
9. Semenov A.A., Ovcharov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2383
10. Zotova E.V., Panasjuk L.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933