

## Исследование влияния отклонений положения рабочей арматуры от проектного на прочность безбалочных перекрытий

*Н.Б. Аксёнов, А.В. Задорожная, В.М. Трофимова,*

*Т.В. Сеницина, А.В. Назаров*

*Донской государственный технический университет*

**Аннотация:** в статье рассмотрены результаты анализа аналитических зависимостей и результатов вычислительного эксперимента, выполненного в среде Лира-САПР. Целью выполненной работы является количественная оценка снижения прочности безбалочных монолитных железобетонных перекрытий, вызванного ошибками, допущенными при выполнении арматурных работ. В частности, рассматривается увеличение толщины защитного слоя бетона и связанное с этим уменьшение рабочей высоты сечения. В работе анализируются данные, полученные как для опорных, так и для пролётных сечений. Всего было рассчитано четыре серии образцов, отличающихся классом бетона (B15, B20, B25 и B30). Каждая серия состояла из 9 образцов, имеющих различную рабочую высоту сечения в опорном и пролётном сечениях. Рабочая высота сечения изменялась от 5 до 22%. Конечно-элементная модель создавалась в среде ПК ЛИРА-САПР. В процессе анализа исследовалось влияние изменения рабочей высоты сечения на площадь опорной и пролётной арматуры, подобранной по прочности.

Установлено, что степень влияния отклонений положения арматуры от проектного в опорных сечениях и в пролёте различна. Наибольшую опасность представляют опорные сечения, то есть участки перекрытия, расположенные в местах опирания перекрытия на колонны. Установлено также, что степень влияния зависит так же от класса бетона по прочности на сжатие.

**Ключевые слова:** железобетон, каркас, безбалочное перекрытие, арматурные работы, рабочая высота сечения, защитный слой бетона, смещение арматуры, подбор арматуры, ПК ЛИРА-САПР.

Долговечность и эксплуатационная надёжность железобетонных конструкций и монолитных безбалочных перекрытий в том числе зависит не только от качества проектирования и учёта особенностей используемых материалов [1, 2], но и от качества выполнения строительно-монтажных работ. Несοосность элементов каркаса существенно влияет на несущую способность элементов здания [3]. Использование современных материалов [4, 5] в том числе композитных [6, 7], значительно повышают несущую способность и эксплуатационные качества строительных конструкций и

позволяют уменьшить размеры поперечного сечения несущих конструкций. Это обстоятельство делает вопрос соблюдения проектного положения арматуры одними из важнейших при производстве работ. В частности, от степени соблюдения соответствия геометрических параметров перекрытия значениям, указанным в проекте, зависят его прочностные и деформационные характеристики. Не смотря на общеизвестность этого утверждения в практике возведения монолитных железобетонных зданий несоблюдение проектного положения арматуры, к сожалению, не редкость. В статье рассмотрено весьма распространенное нарушение – увеличение защитного слоя бетона при бетонировании (рис.1), и, как следствие – уменьшение рабочей высоты сечения.



Рис. 1. Керн из плиты перекрытия одного из обследованных зданий

Для оценки влияния изменения толщины защитного слоя бетона на прочность монолитной плиты перекрытия был реализован вычислительный эксперимент по подбору арматуры в среде ПК «Ли́ра-САПР» [8]. В качестве модели (рис.2) принят фрагмент монолитного безбалочного перекрытия многоэтажного здания. Толщина плиты 220 мм, шаг колонн 6х6 м, сечение

колонн 400x400 мм, длина колонн равна половине высоты этажа, Нижние узлы колонн закреплены по X, Y и Z, верхние только по X и Y. Сопряжение колонн с плитами жёсткое. На перекрытие действует собственный вес и распределённая нагрузка 6 кПа. Арматура плит А400.

Всего было рассчитано 4 серии образцов, отличающихся классом бетона (В15, В20, В25 и В30). В каждой серии расстояние от растянутой грани до центра тяжести арматуры варьировалась на пяти уровнях ( $a=4; 5; 6; 7$  и  $8$  см), чему соответствуют значения рабочей высоты сечения:  $h_0=18; 17; 16; 15$  и  $14$  см соответственно.

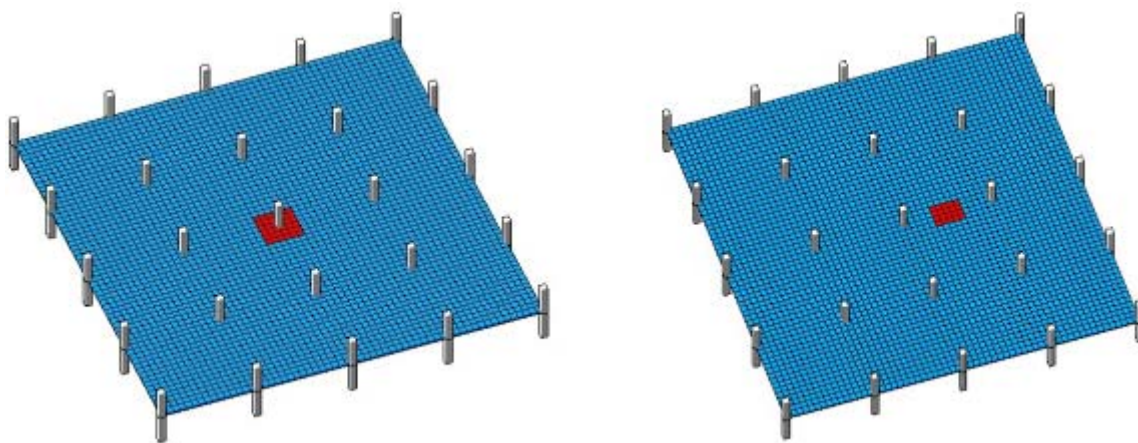


Рис. 2. Схема, принятая для постановки вычислительного эксперимента

В каждую серию входит по 9 образцов: базовый – симметричное расположение верхней и нижней арматуры ( $a=a'=4$  см), четыре образца для опорного сечения ( $a'=4; 5; 6; 7$  и  $8$  см при  $a=4$  см) и четыре образца для пролётного сечения ( $a=4; 5; 6; 7$  и  $8$  см при  $a'=4$  см).

Аналитическую зависимость между требуемой по расчёту площадью продольной растянутой арматуры  $A_s$ , действующим изгибающим моментом  $M$  и рабочей высотой сечения  $h_0$  можно записать следующими образом:

$$A_s = \frac{R_b}{R_s} b \left( h_0 - \sqrt{h_0^2 - 2 \frac{M}{R_b \cdot b}} \right).$$

По этой формуле для каждого значения рабочей высоты сечения была определена требуемая площадь опорной арматуры  $A'_s$ . После этого

вычислили отношения полученных значений  $A'_s$  к площади, соответствующей рабочей высоте сечения, равной 18 см. Значения, полученного таким образом, относительного снижения несущей способности плиты в зависимости от рабочей высоты сечения приведены на рис.3. Моменты принимались из расчёта, выполненного в ПК Лира. Рабочая высота сечения изменяется от 18 до 14 см, на графике (рис.3) эта зависимость представлена прямой линией. Зависимость относительного увеличения требуемой площади арматуры от рабочей высоты сечения не линейна и зависит от прочности бетона.

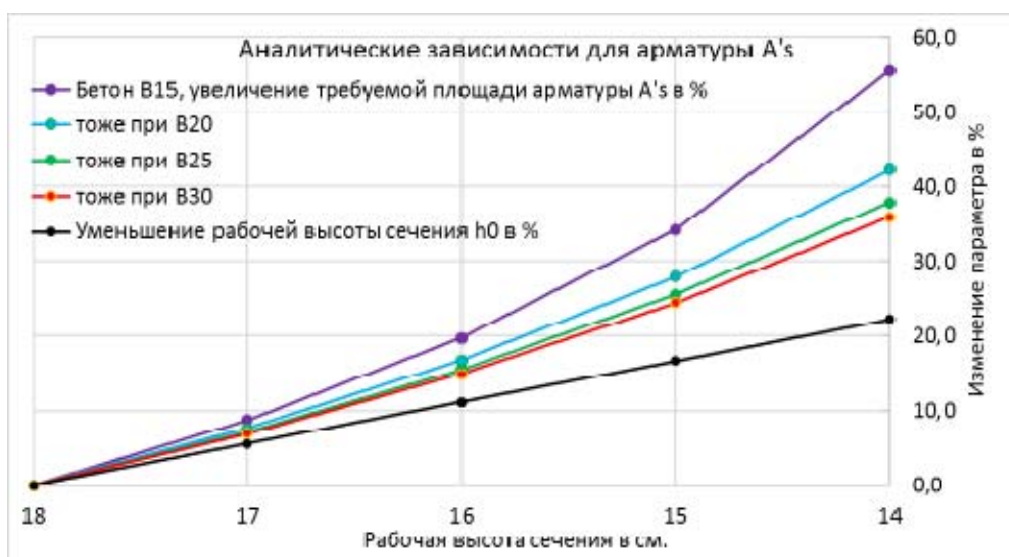


Рис.3. Аналитическая зависимость опорной арматуры  $A'_s$  от  $h_0$

Так, для бетона класса B15 уменьшение рабочей высоты сечения на 20,2% приводит к увеличению требуемой площади арматуры на 56%, что для плит с площадью арматуры, строго соответствующей проекту, но установленной так, что рабочая высота сечения вместо 18 см равна 14 см будет соответствовать снижению прочности более чем в два раза. Как видим, с увеличением класса бетона относительное снижение требуемой арматуры (несущей способности) уменьшается и при бетоне класса B30 составляет около 36%. То есть, уменьшение рабочей высоты сечения на 20%

ведёт к снижению прочности более чем на треть. Для плит из бетона В20 и В25 имеют место промежуточные значения (рис.3).

Аналогичный характер зависимости наблюдается при сравнении относительного увеличения площади требуемой арматуры, полученной из расчётов в среде ПК Лири-Сапр. Увеличение полученных таким образом значений относительного изменения площади арматуры (рис.4) по сравнению с аналитическим решением объясняется влиянием выполняемого ПК Лири расчёта по второй группе предельных состояний (ограничение ширины раскрытия трещин [9]). Поведение графика, соответствующего бетону класса В15, выбивается из общей закономерности (для проверки расчёт был выполнен в двух версиях программы - ПК Лири-Сапр 2015 и 2017).

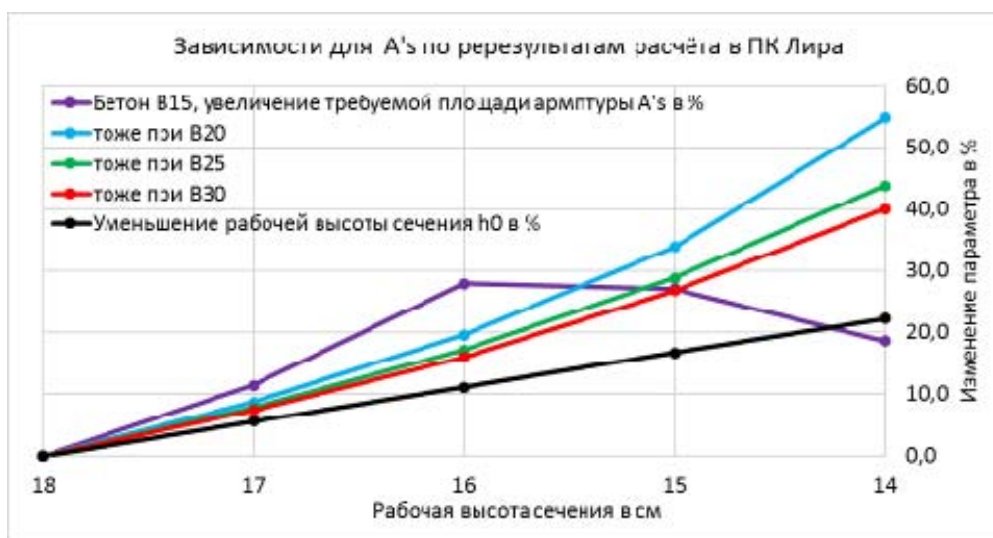


Рис.4. Зависимость  $A's$  от  $h_0$  по результатам расчётов в ПК Лири.

Сопоставление численных значений относительного увеличения требуемой пролётной арматуры, полученных по аналитической зависимости и результатам расчётов в среде ПК Лири свидетельствует о том, что результаты практически не зависят от способа расчёта – разница составляет 1 – 2 %). По этой причине показан только один график (рис.5).

Очевидно, что в сечениях, расположенных в пролёте, как и в растянутых элементах [10] относительное увеличение требуемой арматуры, и, соответственно, снижение несущей способности существенно ниже, чем в опорных сечениях (рис.3 – рис.5). Влияние прочности бетона здесь имеет тот же качественный характер, а количественно влияет в значительно меньшей степени. Так, при уменьшении рабочей высоты сечения на 22% арматуры требуется на 30 % больше при бетоне В30 и на 33 % больше при бетоне В15

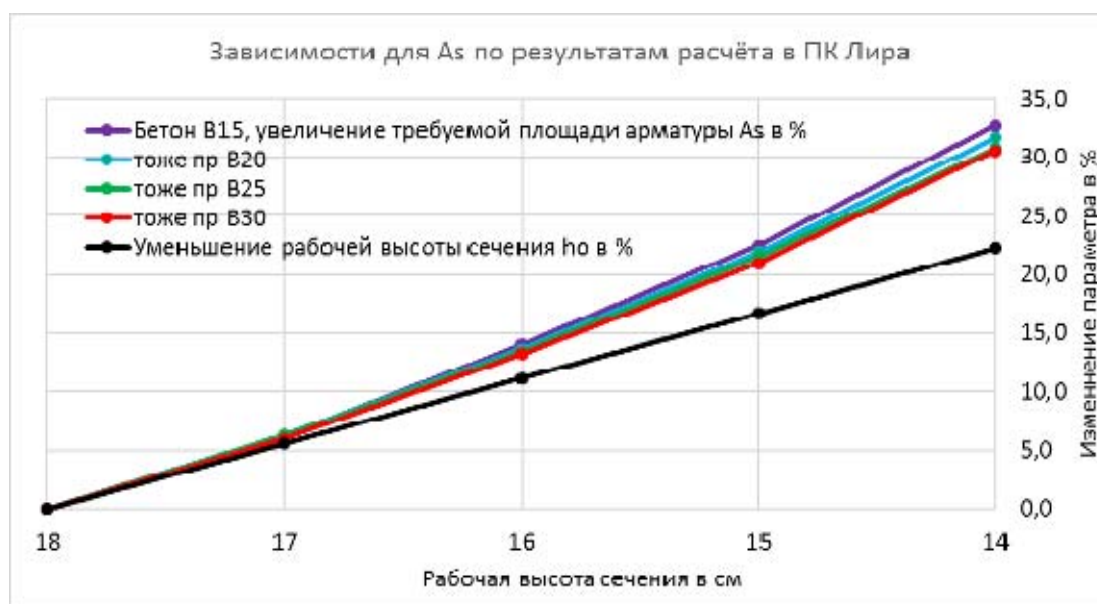


Рис.4. Зависимость  $A_s$  от  $h_0$  по результатам расчётов в ПК Лира.

Анализ полученных результатов свидетельствует о разной степени влияния отклонения от проектного положения арматуры в пролётных сечениях и сечениях, расположенных над колоннами – в опорных сечениях. Установлено, что более чувствительны к смещению арматуры относительно проектного положения опорные сечения. Для наиболее употребительных в перекрытиях классах бетона В20 и В25 уменьшение рабочей высоты сечения на 22 % приведёт к снижению прочности на 38 и 42 % в опорных сечениях и на 31 % в пролётных соответственно.

## Литература

1. 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/).
2. Аксенов В.Н. Расчет колонн из высокопрочного бетона по деформированной схеме // Научный журнал строительства и архитектуры. 2009. № 1. С. 125-132.
3. Маилян Д. Р., Несветаев Г.В. Зависимость относительной несущей способности колонн от относительного эксцентриситета // Инженерный вестник Дона. 2012. №4 (часть 2) URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334).
4. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н., Маилян Д.Р., Блягоз А.М., Сморгунова М.В. Особенности конструктивных свойств высокопрочных бетонов // Новые технологии. 2013. № 3. С. 135-143.
5. 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/www.scientific.net/SSP.265.109](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.265.109)
6. Польской П.П., Маилян Д.Р. Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675)
7. Польской П.П., Маилян Д.Р. Композитные материалы - как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4 (часть 2) URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334).
8. ПК ЛИРА-САПР 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. [2016]. URL: [liraland.ru/lira/](http://liraland.ru/lira/)
9. 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.

10. Aksenov V.N., Quyen Vu Le, Trufanova E.V. Evaluation of Reinforced Concrete Cylindrical Reservoirs with Single-layered Walls, In Procedia Engineering, Volume 150, 2016, Pp. 1919-1925, ISSN 1877-7058, doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.192(scimedirect.com/science/article/pii/S1877705816315090 )

### References

1. Mkrtchjan A.M., Aksenov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818/.
2. Aksenov V.N. Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. 2009. №1. p. 125-132.
3. Mailjan D.R., Nesvetaev G.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (v. 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334.
4. Mkrtchyan A.M., Aksenov V.N., Mailjan D.R., Blyagoz A.M., Smorgunova M.V. Novye tekhnologii. 2013. №3. P. 135-143.
5. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Lopatina Yu.Yu. Solid State Phenomena. 2017. Vol.265. Pp.109-113. URL: doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.265.109
6. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675
7. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (v.2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334.
8. PK LIRA-SAPR 2016. Proektirovanie i raschet stroitel'nykh konstruktsiy [LIRA-SAPR 2016. Design and calculation of building structures]. URL: liraland.ru/lira/.
9. Gorodeckij A.S., Batrak L.G., Gorodeckij D.A., Laznjuk M.V., Jusipenko S.V. Raschet i proektirovanie konstrukcij vysotnyh zdaniy iz monolitnogo



- železobetona. [Calculation and design of construction of high-rise buildings made of reinforced concrete] Kiev, 2004. 106 p.
10. Aksenov V.N., Quyen Vu Le, Trufanova E.V. Evaluation of Reinforced Concrete Cylindrical Reservoirs with Single-layered Walls, In Procedia Engineering, Volume 150, 2016, Pp. 1919-1925, ISSN 1877-7058, doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.192(scencedirect.com/science/article/pii/S1877705816315090 )