

## Структура стоимости материалов в ребристых железобетонных плитах перекрытий при переменной ширине сечения

*В.С. Кузнецов, А.В. Черняк*

*Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет*

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы оптимизации ребристых железобетонных плит с предварительным напряжением арматуры с учетом геометрических, прочностных и стоимостных показателей. Исследование выполнено на основе анализа рынка продаж строительных материалов, основ сопротивления железобетона и положений нормативных документов о проектно-конструкторской деятельности в РФ, а также трудов отечественных и зарубежных ученых. Метод исследования - структурно-аналитический анализ с учетом связей исследуемых факторов. Представлены аналитические и графические материалы, выявляющие закономерности между геометрическими размерами и стоимостью компонентов. Предложенная методика определения эффективности конструкции с учетом стоимостных показателей материалов свидетельствует о целесообразности ее применения в практике проектирования. Приведены рекомендации по проектированию, обеспечивающие получение конструкций минимальной стоимости и отвечающие требованиям прочности и долговечности.

**Ключевые слова:** Железобетон, прочность, структура, арматура, диаметр, цена, стоимость, эффективность, размеры, анализ, элемент.

Финансовые затраты на конструкции здания или сооружения всегда являлись определяющим фактором при выборе конструктивного решения, применяемых способов производства и строительных материалов. Стоимость сборного железобетонного элемента включает расходы на бетон  $C_b$ , арматуру  $C_s$ , изготовление  $C_u$  и транспортирование  $C_m$ . В работе исследовалась стоимость бетона и арматуры при обеспечении прочности изделия и соблюдении конструктивных требований. Стоимость бетона  $C_b$  определяется его объемом в изделии, применяемыми инертными материалами, маркой цемента, соответствующими принятому классу бетона. Стоимость арматуры зависит от ее количества, класса, марки стали и применяемого диаметра (Рекомендации по расчету технико-экономических показателей железобетонных конструкций на стадии предварительной оценки результатов НИР. НИИЖБ. 01.01.2021), также от сложившихся на данный

период цен в регионе [1]. Исследования, направленные на изучение структуры содержания материалов в железобетонных элементах, с целью снижения их стоимости, являются актуальными с точки зрения научного аспекта и практического применения [2,3].

**Материалы и методы.** Исследовались ребристые плиты с предварительным напряжением арматуры и торцовыми поперечными ребрами. Основные размеры и армирование плиты показано на рис. 1.

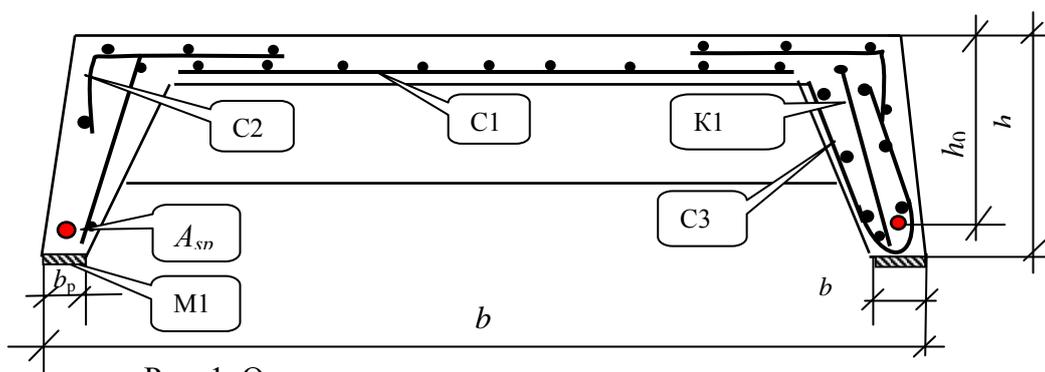


Рис. 1. Основные размеры и армирование плиты.

Стоимость плиты представлялась суммой расходов на бетон и арматуру.

$$C = C_b + C_a \quad (1)$$

Объем бетона изделия вычислялся по геометрическим размерам плиты без учета его уменьшения за счет арматуры и шпоночных углублений.

**Стоимость бетона** определялась объемом изделия  $V_b$  и средней ценой одного кубометра  $C_b$ , в регионе.

$$C_b = C_b V_b \quad (2)$$

**Стоимость арматуры** определялась ее количеством, выраженным через вес и ценой арматуры, сложившейся в регионе на момент исследования (Портал «Мониторинг цен», Единый металлургический портал «Metal100.ru»). Стоимость арматуры  $C_s$  определялась суммой стоимости: напрягаемой арматуры ( $C_{sp}$ ), продольных стержней каркаса K1 ( $C_{s1}$ ), поперечных стержней каркаса K1 ( $C_{s2}$ ), поперечных стержней каркаса K2 ( $C_{s2}$ ), продольных стержней каркаса K2 ( $C_{s3}$ ), продольных стержней сетки C1 ( $C_{s4}$ ), поперечных стержней сетки C1 ( $C_{s5}$ ), продольных стержней сетки C2

( $C_{s6}$ ), поперечных стержней сетки С2 ( $C_{s7}$ ), продольных стержней сетки С3 ( $C_{s8}$ ), поперечных стержней сетки С3 ( $C_{s9}$ ), опорных закладных деталей ( $C_{s10}$ ), формула (3).

$$C_s = \sum C_{si} = C_{s1} + C_{s2} + \dots + C_{s10} \quad (3)$$

Различие в ценах арматуры может корректироваться применением поправочных коэффициентов [4-6].

**Количество напрягаемой арматуры  $A_{sp}$**  зависит от геометрических размеров плиты (длины  $l$ , высоты  $h$  и ширины  $b$ ), прочностных характеристик материалов  $R_{sp}$  и  $R_b$  и величины действующей нагрузки.

Расчетные усилия в плите  $M$  и  $Q$  определялись как для шарнирно опертой балки, таврового сечения, загруженной равномерно распределенной нагрузкой.

Площадь напрягаемой арматуры определялась при соблюдении условия  $\xi \leq \xi_R$ , с учетом работы высокопрочной арматуры выше условного предела текучести, в соответствии с требованиями (СП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная версия М.2012) из выражения (6).

$$A_s = \frac{R_b b h_0 (1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m})}{R_s}, \quad (6)$$

где  $\alpha_m = M / R_b b h_0^2$

**Количество поперечной арматуры  $A_{sw}$  каркаса К1** зависит от геометрических размеров элемента (длины  $l$ , высоты  $h$  и ширины  $b$ ), прочностных характеристик материалов  $R_{sp}$  и  $R_{bt}$  и действующей нагрузки. Расчетная площадь поперечных стержней определялась в соответствии (СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры, М.2005) без рассмотрения вариантов расположения наклонных сечений из условия (7) с учетом результатов [7].

$$Q \leq Q_{b1} + Q_{aw,1} \quad (7)$$

Здесь

$Q_{b1}$ -расчетная поперечная сила в нормальном сечении.

$$Q_{b1}=0,5R_{bt}bh_0 \quad (8)$$

$Q_{aw,1}$  -поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой.

$$Q_{aw,1}=q_{sw}h_0 \quad (9)$$

Погонное усилие в поперечной арматуре:

$$q_{aw}=R_{sw}A_{aw}/s \quad (10)$$

В расчетах шаг поперечных стержней « $s$ » предварительно принимался по конструктивным требованиям, а обеспечение прочности осуществлялось подбором диаметра и класса арматуры стержней. Требуемая площадь поперечной арматуры  $A_{sw}$  находилась из выражения:

$$A_{aw}=Q_{aw}s/h_0R_{sw} \quad (11)$$

Количество поперечной арматуры определялось расчетной площадью поперечных стержней, их количеством и длиной, равной  $h-20$  мм. Продольная арматура каркаса К1 определялась площадью стержней, их количеством и длиной, равной длине плиты минус 20 мм. Диаметр продольных стержней принимался конструктивно, из условия свариваемости с поперечными стержнями. Арматура рабочих поперечных стержней сетки С1 связана с нагрузкой и шириной плиты и определялась расчетом прочности полки на местный изгиб с учетом пластических деформаций арматуры. Площадь арматуры вычислялась при  $\xi \leq \xi_R$  из выражения (6) или принималась по конструктивным требованиям (СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции). Длина стержней равна ширине плиты минус удвоенная ширина продольного ребра по верху. Продольная арматура сетки С1 устанавливалась конструктивно в количестве 50% от рабочей площади поперечных стержней. Длина стержней соответствовала длине плиты минус 20 мм. Арматура рабочих поперечных стержней сеток С2

принималась аналогичной сетке С1. Длина стержней принималась равной четверти ширины плиты плюс половина высоты ребра. Продольная арматура сеток С2 устанавливалась конструктивно в количестве 50% от рабочей площади поперечных стержней. Длина стержней соответствовала длине плиты минус 20 мм. Продольная арматура каркаса К2 определялась площадью стержней, их количеством и длиной, равной ширине плиты плюс 500 мм. Диаметр продольных стержней принимался конструктивно. Поперечная арматура каркаса К2 определялась площадью стержней, их количеством и длиной, равной высоте поперечного ребра ширине плиты минус 20 мм. Устанавливалась конструктивно. Арматура сеток С3 принималась одинаковой при всех размерах и нагрузках. Продольные стержни диаметром 5 мм, длиной (500 мм), а поперечные диаметром 5 мм равны удвоенной высоте плиты минус 50 мм). Закладные детали размером 70×70×8 мм из листовой стали С235 с двумя анкерными прутками диаметром 8 мм, класс арматуры А240.

В плитах применены: бетон В25, напрягаемая арматура А800, поперечная А240 и В500 (ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный, свариваемый, периодического профиля, классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций). Расчетная нагрузка  $q = 15 \text{ кН/м}^2$ . Конструктивная длина  $l = 6,2 \text{ м}$ , расчетный пролет  $l_0 = 6,0 \text{ м}$ , толщина полки 5 см. Переменными принималась ширина плиты  $b = (1,25-1,5-1,75-2,0-2,25-2,5) \text{ м}$ .

Для каждой опытной плиты определялся расход бетона и арматуры и вычислялись отдельно стоимость арматуры, бетона и элемента в целом, как в абсолютных значениях, так и в относительном выражении. Полученные данные анализировались и систематизировались. Результаты анализа составлялись и выражались в табличной или графической формах.

## Результаты исследования

Изучение рынка продаж с целью установления реальных цен арматуры, сложившихся в регионе на момент исследования, позволило констатировать как нестабильность цен на отдельные виды арматуры, так и значительное увеличение цен на все виды продукции. Анализ рынка выявил также связь цены арматуры с ее диаметром (рис.2), что создает предпосылки эффективного выбора диаметров при проектировании изгибаемых элементов.

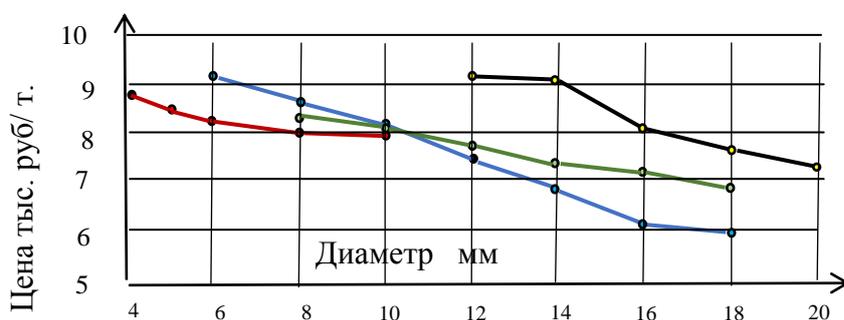


Рис. 2. Среднестатистическая цена арматуры в зависимости от диаметра. По данным [2,3], на ноябрь 2021г.

Так, по данным порталов, включающих более сотни производителей и поставщиков металла, рост цен на отдельные виды арматуры в течении последних

девяти месяцев достигал двукратных значений. Среднестатистическая цена бетона, определенная по показателям десяти производителей для центрального региона (4400 руб/м<sup>3</sup>), носит более стабильный характер и характеризуется меньшим темпом прироста цен по времени [8-10].

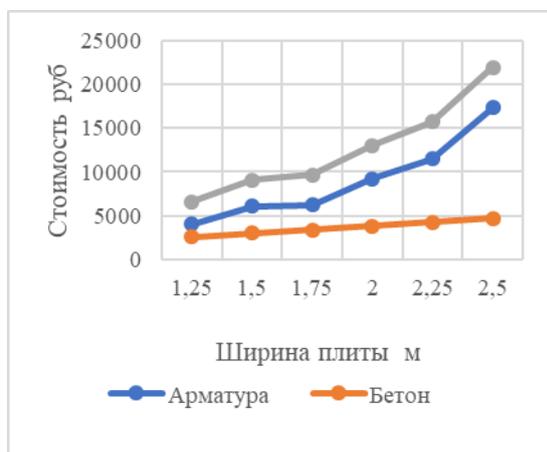


Рис. 3. Структура стоимости материалов руб

Стоимости арматуры и бетона и их содержание в общей сумме изделия представлено графиками на рис. 3, которые свидетельствуют о преимущественной доле расходов на арматуру в стоимость конструкции. Причем, при увеличении ширины плиты, прирост стоимости арматуры значительно опережает прирост стоимости бетона.

Так, при фиксированной высоте 28 см и нагрузке 15 кН/м<sup>2</sup> в диапазоне изменения ширины плиты от 1,25 до 2,5 метра, суммарная стоимость материалов одного квадратного метра арматуры возросла с 851 до 1418 рублей, т.е., в 1,67 раза, а площадь плиты увеличилась в 2 раза, что свидетельствует о целесообразности применения элементов больших размеров.

Структура относительной стоимости арматуры, приведенная к общему



Рис. 4. Содержание арматуры в плите

расходу, для плиты шириной 1,5 м,

представлена на рис. 4. Графики показывают, что доля стоимости преднапряженной арматуры является преобладающей (34%). Затем, по убыванию, располагаются арматурные изделия C1 (18,5%), K1 (16,8%) и C2 (13,5%). Общее содержание арматуры A<sub>sp</sub>, каркаса K1 и сеток C1 и C2

составляет 82,8%. Расходы на арматуру по видам арматурных изделий, в диапазоне ширин плиты 1,25-2,5 метра, систематизированы и представлены на рис. 5.

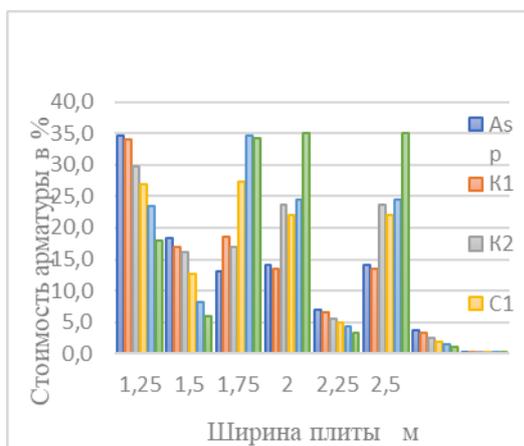


Рис. 5. Структура стоимости арматуры в плите в зависимости от ширины плиты

Показатели диаграммы иллюстрируют изменения пропорций структуры стоимости металла в плите с ростом ширины изделия. Рост расходов на сетки C1 и C2 связан не только с увеличением расхода металла, но также с ценами на данный вид арматуры. Очевидно, что стоимость сеток C1 и C2 и каркаса торцового ребра K2 остается

независимой от высоты плиты, и является функцией ширины плиты и действующих нагрузок. Таким образом, мероприятия по уменьшению стоимости плиты должны быть направлены, в первую очередь, на снижение доли стоимости напрягаемой арматуры, путем применения более прочных сталей, что отмечается как в отечественной, так и в зарубежной литературе (BS8110. British Standard. Structural use of concrete, 2010).

Проведенное исследование выявило связь цены проката с ее диаметром, и это уточняет возможности выбора арматуры на стадии проектирования для реализации конструкции меньшей стоимости. Установлено, что в связи повышенным спросом на арматуру классов А400 и А500 (А500С), особенно, для наиболее востребованных, в настоящее время, диаметров, 10-12-14-16 мм, цены на этот вид продукции превышают цены на высокопрочную арматуру. Результаты работы позволяют оптимизировать выбор геометрических размеров ребристых плит видов арматуры и применяемых диаметров, с целью снижения стоимости изделия.

### Литература

1. Смирнова Г.Е., Найденова Н.С., Невмятуллина Х. А. Техническое регулирование в области строительных материалов // Экономика строительства, 2017, №2, с.68-75.
2. Кузнецов В.С. Шапошникова Ю.А. // Структура содержания и стоимости материалов в изгибаемом железобетонном элементе при переменной высоте сечения // «Springer, Cham». Конференция «Международная научная конференция по инновациям и технологиям в строительстве (BUILDINTECH BIT 2021): Инновации и технологии в строительстве». URL: [link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-80946-14](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-80946-14).

3. Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. Влияние нормативных допусков арматурного проката на технико-экономические показатели железобетонных элементов // Инженерный вестник Дона, 2021, № 3.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6859](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6859).
4. Будошкина К.А, Кузнецов В. С., Шапошникова Ю.А. Анализ работы комбинированных балок в широком диапазоне нагрузок // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4907](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4907).
5. Луговая В.П., Абдукадырова Х.А., Суюнов А.С. Оперативный контроль качества продукции предприятий стройиндустрии. Вестник МГСУ, 2015. №8, с. 161-171.
6. Теличенко В.И., Дорогань И.А., Решетова А.Ю. Особенности проведения торгов на проектирование для опасных объектов. Вестник МГСУ, 2015, №3, с. 99-108.
7. Бруссер М.И., Подмазова С.А. Проектирование составов тяжелого и мелкозернистого бетонов. Пути развития. Бетон и железобетон. 2021. №2, (604), с. 3-7.
8. Силантьев А.С. Работа изгибаемых элементов под наклонным сечением с экстремально малым пролетом среза. Бетон и железобетон. 2020. №20, (602), с.28-33.
9. Mirsaedie L. Application of industrialized building systems (IBS) in rural settlements towards sustainability // World Applied Sciences Journal. 2012. Vol. 16. No. 5. Pp. 729-733.
10. Yusmin J. Factors Influencing Industrialized Building System (IBS) Project Performance: A Systematic Review // Journal of governance and integrity (JGI). 2020. Vol. 3, ISSUE 2, Pp. 64-81.

## References

1. Smirnova G.E., Najdenova N.S., Nevmyatullina X. A. E`konomika stroitel`stva/ 2017, №2, Pp. 68-75.
2. Kuzneczov V.S. Shaposhnikova Yu.A. «Springer, Cham». Konferenciya «International Scientific Conference on Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021): Innovations and Technologies in Construction». URL: [link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-80946-14](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-80946-14)
3. Kuzneczov V.S., Shaposhnikova Yu.A. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2021, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6859](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6859).
4. Budoshkina K.A, Kuzneczov V. S., Shaposhnikova Yu.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4907](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4907).
5. Lugovaya V.P., Abdukady`rova X.A., Suyunov A.S. Vestnik MGSU, 2015. №8, Pp. 161-171.
6. Telichenko V.I., Dorogan` I.A., Reshetova A.Yu. Vestnik MGSU, 2015, №3, Pp. 99-108.
7. Brusser M.I., Podmazova S.A. Beton i zhelezobeton. 2021. №2, (604), Pp. 3-7.
8. Silant`ev A.S. Beton i zhelezobeton. 2020. №20, (602), Pp. 28-33.
9. Mirsaedie L. World Applied Sciences Journal. 2012. Vol. 16. No. 5. Pp. 729—733.
10. Yusmin J. Journal of governance and integrity (JGI). 2020. Vol. 3, ISSUE 2, Pp. 64-81.