
Выбор оптимального сечения колонн и класса бетона при проектировании 16-этажного жилого здания из монолитного железобетона

Хая Вахидулла, В.Н. Аксенов

Донской государственной технической университет (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону

Аннотация: Работа посвящена поиску оптимального конструктивного решения колонн 16-ти этажного монолитного железобетонного жилого здания с минимальной стоимостью материалов. Современный подход к конструктивному решению высотных зданий предполагает многополярность на этапе конструирования. Если оно отвечает современным требованиям, определяемым потребностями человека, долговечности и функциональности жилья и другим параметрам, отмечается и существенное значение экономических показателей. Особый подход к этапу проектирования в качестве попытки рассмотреть детально подготовительный этап (выбор сечения и класса бетона колонн в зданиях из монолитного железобетона) оправдан актуальностью рассматриваемой в статье проблемы. Проектируемый объект – 16-этажное здание с каркасом из монолитного тяжелого бетона. Для решения поставленной в статье задачи был проведен вычислительный эксперимент. В результате проведенного эксперимента была определена тенденция к удорожанию стальной арматуры и, как следствие, необходимость снижения ее расхода путём увеличения сечения колонн или повышения прочности бетона в них. Второй вариант явился более предпочтительным. В статье рассмотрено 3 варианта исполнения колонн: в виде пилонов сечением 700х200 мм из бетона В25; в виде пилонов того же сечения, но с варьированием класса бетона по высоте (В25, В40, В60); в виде пилонов сечением 500х200 мм также с варьированием класса бетона. Методом поиска оптимальных решений принято проведение вычислительного эксперимента, для чего выполнен расчёт несущих конструкций рассматриваемого здания методом конечных элементов в программе Лира-САПР. В результате получено снижение стоимости колонн на 6,7 % для второго варианта и на 17,7 % – для третьего. Предложено при проектировании многоэтажных зданий из монолитного железобетона в качестве инструмента, позволяющего снизить итоговую стоимость строительства, использовать различные классы бетона по прочности для вертикальных конструкций на разных этажах: постепенно снижая класс с увеличением высоты расположения конструкции. Также рекомендуется при проектировании выполнять расчёт разных вариантов конструктивных решений каркаса ещё на стадии технико-экономического обоснования строительства.

Ключевые слова: железобетонная колонна, расчёт каркаса, Лира-САПР, варьирование класса бетона, оптимальное проектирование железобетонных конструкций, расчёт 16-этажного здания.

ВВЕДЕНИЕ

Реальную ценность современного процесса проектирования многоэтажных зданий определяют параметры, одним из которых является экономичность конструктивных решений [1-3]. Это означает необходимость

выполнения поиска оптимальных решений на этапе проектирования. В настоящей статье сделана попытка рассмотреть вопрос, требующий особого подхода при проектировании: выбор сечения и класса бетона колонн в зданиях из монолитного железобетона. Данная тема актуальна, о чём свидетельствует её рассмотрение в публикациях отечественных авторов [4-6] и зарубежных источниках [7]. Понятия колонна и пилон для целей настоящего исследования идентичны, поэтому в тексте они используются в зависимости от ситуации, но по своей сути взаимозаменяемы.

Данная проблема всегда остаётся актуальной и важной, учитывая то, что колонны являются основными вертикальными несущими конструкциями и наряду с монолитными стенами воспринимают нагрузки от веса всего здания [3, 5, 7].

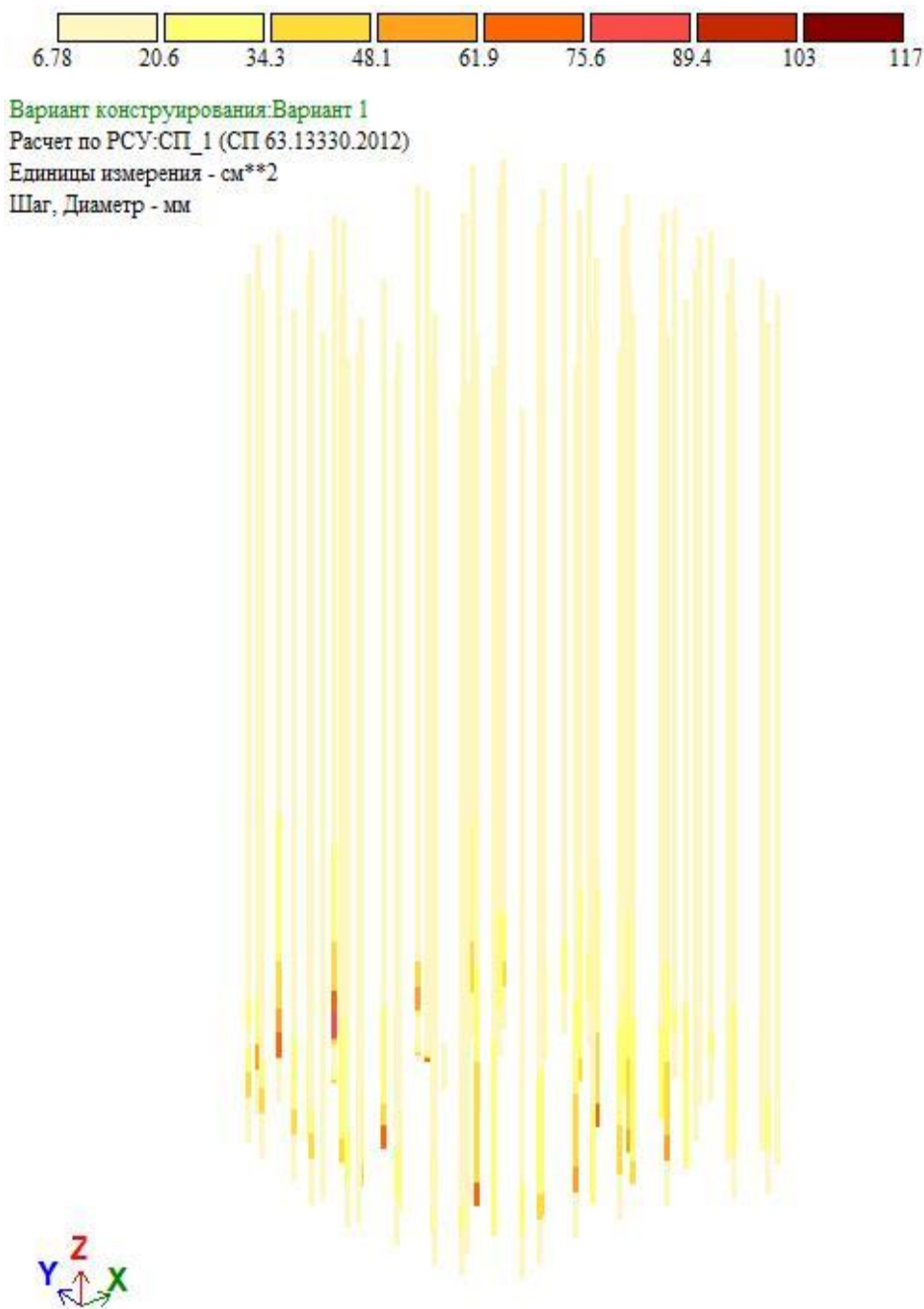
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования в данной статье рассмотрено 16-этажное здание с каркасом из монолитного тяжёлого бетона. В проектах в большинстве случаев для таких каркасов используются бетоны класса по прочности В25 и стальная стержневая арматура класса А500, о чём говорится, к примеру, в статьях [8-10]. Некоторые свойства данных материалов описаны в публикациях [11-13].

Методом поиска оптимальных решений было принято проведение вычислительного эксперимента. Был выполнен расчёт несущих конструкций рассматриваемого здания методом конечных элементов в некоммерческой версии программы Лира-САПР 2016. Подбор армирования конструкций при стандартном бетоне, а также варьирование классов бетона осуществлялись также при помощи данного программного комплекса.

После выполнения первоначального расчёта было подобрано армирование вертикальных несущих конструкций здания: пилонов сечением

200x700 мм (рис. 1). Такое сечение переводит пилоны в разряд гибких внецентренно сжатых элементов [14-16].



Площадь полной арматуры AU1 AU2 AU3 AU4 AS1 AS2 AS3 AS4 . Симметричное армирование

Рис. 1. – Суммарная площадь арматуры пилонов 16-этажного здания.

Сечение 700x200, бетон В25

Учитывая тенденцию к удорожанию стальной арматуры, наметившуюся в последние годы (рис. 2), вторым этапом в исследовании были рассмотрены мероприятия по снижению расхода арматуры.

Естественным выбором в такой ситуации является либо увеличение сечения колонн, либо повышение прочности бетона в них. Как более эффективный вариант, был выбран второй: перерасчёт армирования пилонов с варьированием класса бетона по высоте здания. Для подвала, а также с 1 по 2 этаж применяется бетон В60, с 3 по 10 этажи – В40, а с 11 по 16 этаж – В25 (рис. 3). Сечение колонн при этом остаётся без изменений. Результаты отображены на рис. 4.

Кроме того, с целью оценить возможность дополнительного снижения расхода бетона был выполнен третий этап расчетов – сечение пилонов уменьшено до 500x200 мм. Результаты расчета представлены на рисунке 5.

Чтобы определить экономическую эффективность принятых решений, была выполнена оценка стоимости материалов, необходимых для возведения пилонов по всем трём вариантам расчёта. Стоимость 1 м³ бетона разных классов принята по данным интерне-сайтов производителей товарного бетона: В25 – 3550 руб., В40 – 4300 руб., В60 – 4680 руб [18]. Стоимость 1 т арматуры А500 принята актуальной на момент написания статьи 55800 руб [17].

Результаты расчёта приведены в таблице 1. В ней указаны теоретические, т.е. полученные расчётом в ПК Лира-САПР объёмы материалов (бетона и арматуры), необходимых для возведения колонн 16-этажного здания и их стоимость. При этом не учтены расходы на монтажную арматуру и стыки стержней по высоте.

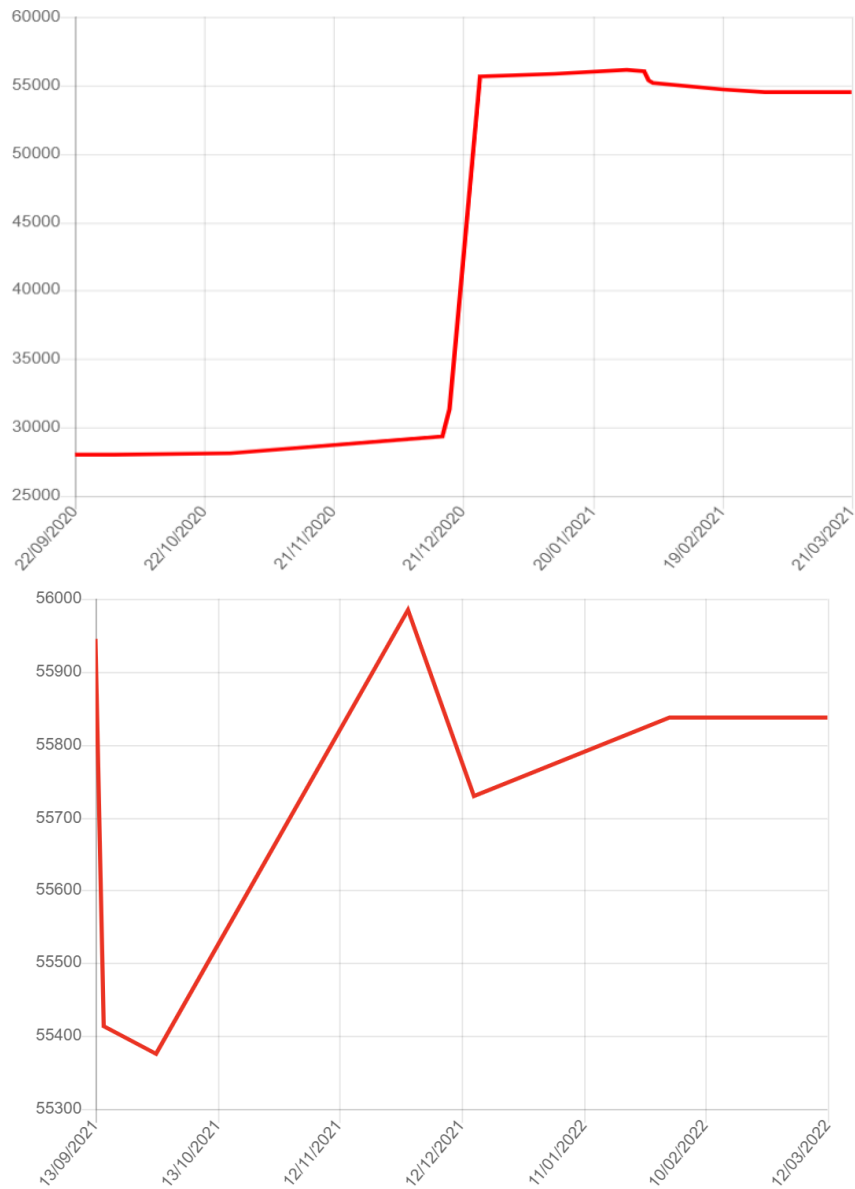


Рис. 2. – Динамика изменения стоимости арматуры класса А500С (руб. за 1 тонну) в разные периоды по данным сайта: mсena.ru [17]

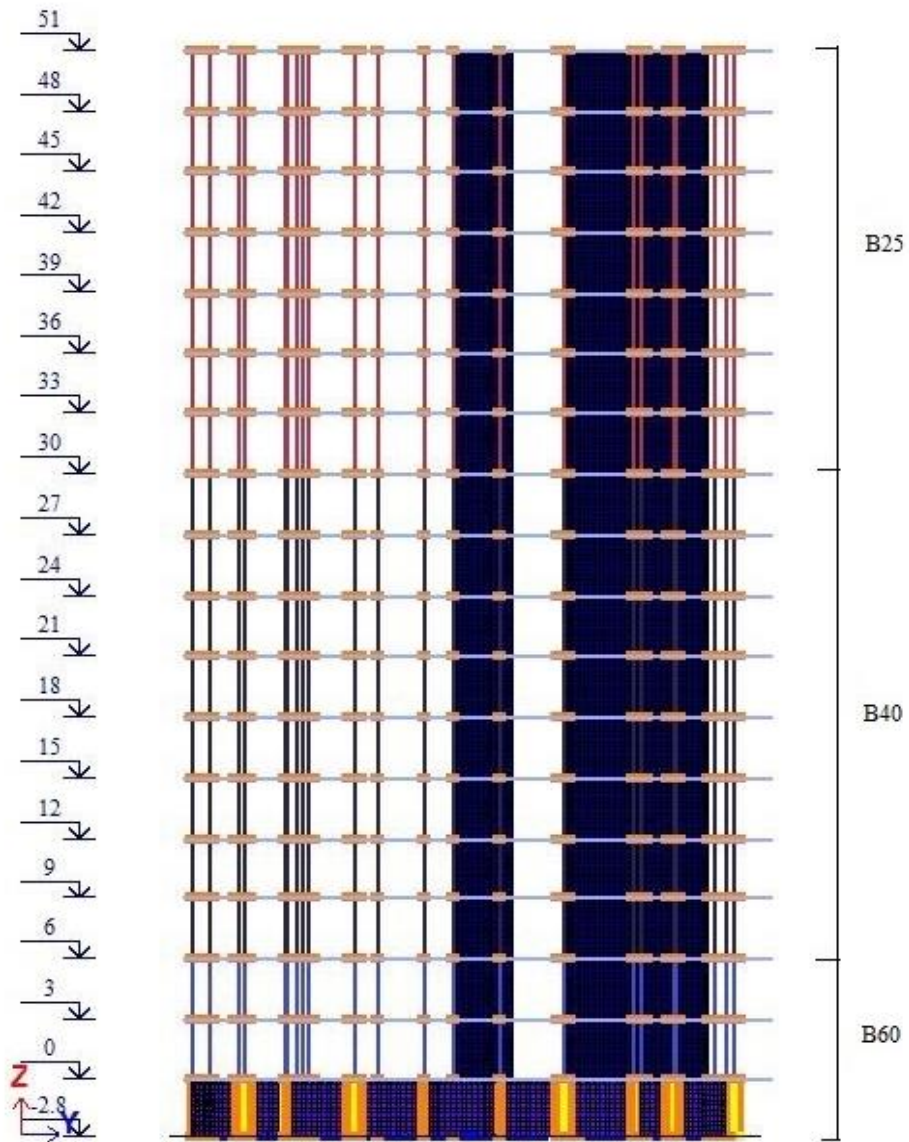


Рис. 3. – Классы бетона для пилонов 16-этажного здания

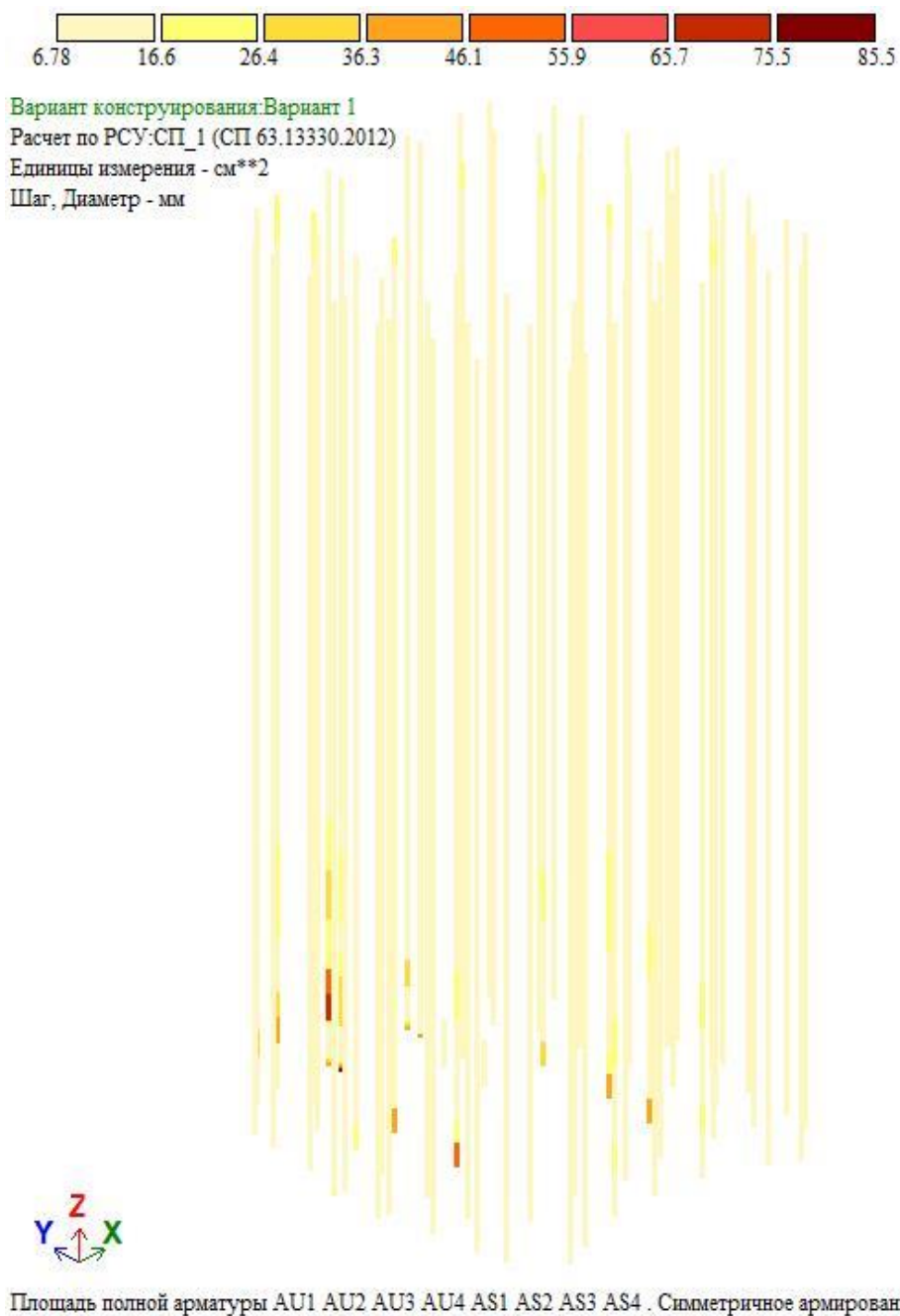
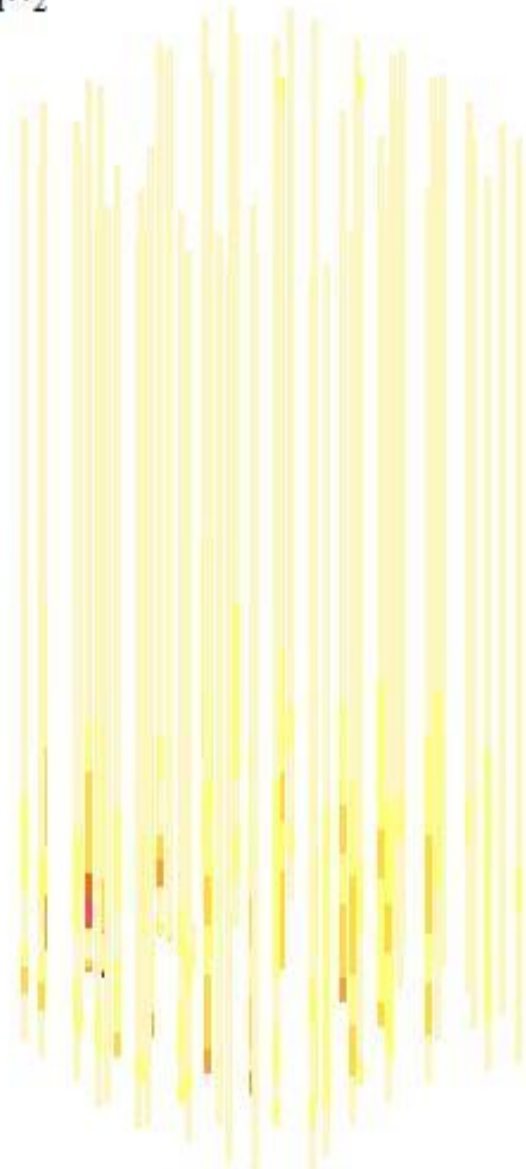


Рис. 4. – Армирование пилонов сечением 700x200 мм при использовании бетонов В25, В40, В60



Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ:СП_1 (СП 63.13330.2012)
Единицы измерения - см**2
Шаг, Диаметр - мм



Площадь полной арматуры AU1 AU2 AU3 AU4 AS1 AS2 AS3 AS4 . Симметричное ар

Рис. 5. – Армирование пилонов сечением 500x200 мм при использовании бетонов В25, В40, В60

Таблица № 1

Экономические показатели трёх вариантов конструирования пилонов

Сечение пилона	Материалы	Объем	Цена единицы объёма, руб.	Общая стоимость, руб.
700x200	B25	456,66 м ³	3550	1 621 143
	A500	28,13 т	55800	1 569 654
Ито: 3 249 544 руб.				
700x200	B25	178,4 м ³	3550	633 391
	B40	203,85 м ³	4300	876 555
	B60	75,44 м ³	4680	353 059
	A500	19,86 т	55800	1 108 188
Ито: 2 971 193 руб.				
500x200	B25	127,41 м ³	3550	452 305,5
	B40	144,90 м ³	4300	623 070
	B60	53,44 м ³	4680	250 192,8
	A500	23,316 т	55800	1 301 033
Ито: 2 626 601 руб.				

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам расчётов определено, что использование разных классов бетона (B25, B40, B60 согласно рис. 3.) для вертикальных конструкций разных этажей приводит к снижению стоимости материалов, необходимых на возведение колонн на 8,5 %. Большого экономического эффекта удалось достичь, уменьшив сечение колонн. Тут экономия составила 19,2 % (622 943 руб.) от первоначальной стоимости материалов. Показатели жёсткости каркаса при этом изменились незначительно, требования нормативных документов к прочности узлов на продавливание, деформации многоэтажных здания и к динамической комфортности пребывания людей выполняются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве основного результата проделанной работы получено, что при проектировании многоэтажных зданий из монолитного железобетона в качестве инструмента, позволяющего снизить итоговую стоимость строительства, следует рассмотреть применение различных классов бетона по прочности для вертикальных конструкций на разных этажах, постепенно снижая класс с увеличением высоты расположения конструкции.

Универсальных рекомендаций проектировщикам при этом дать невозможно, так как эффективность данного подхода будет различной для каждого здания. В общем случае, экономический эффект будет зависеть от этажности здания, степени загруженности вертикальных конструкций, соотношения количества колонн и железобетонных несущих стен на этаже, шага несущих конструкций, а также особенностей ценообразования на рынке строительных материалов в конкретном регионе. Однако, сам подход к вопросу проектирования конструкций должен включать расчёт разных вариантов решений каркаса ещё на стадии технико-экономического обоснования строительства.

Литература

1. Кравчук Е.В. Экономичность проектного решения при проектировании здания и сооружения // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2019. Т. 1. № 3. С. 359-362.
 2. Сенин Н.И. Рациональное применение конструктивных систем многоэтажных зданий // Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 76-83.
 3. Кашина И.В, Закиева Н.И., Калиберда Д.В., Ким К.А., Ливинский Д.Р. К вопросу разработки конструктивных схем каркасов высотных монолитных железобетонных зданий // Инженерный вестник Дона, 2020, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6280.
-

4. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н. Перспективы применения высокопрочных бетонов в конструкциях зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 39-43.
 5. Дмитриева Т.Л., Нгуен В.Т. К вопросу оптимального проектирования железобетонных колонн многоэтажных зданий с оптимальными Параметрами // Вестник ИрГТУ. 2015. № 3-98. С. 134-142.
 6. Нгуен В.Т., Кажарский В.В. Расчет стержневых железобетонных конструкций с учетом неупругой работы методом конечных элементов // Вестник ИрГТУ. 2014. № 5-88. С. 107-114.
 7. Design of Modern Highrise Reinforced Concrete Structures, Vol., 3, edited by H. Aoyama, Imperial College Press (2001). 460 p.
 8. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Эффективные бетоны для современного высотного строительства // Монография. Издательство: ООО "НИПКЦ Восход-А", Москва, 2010. С. 144.
 9. Морозова Д.В., Бобок А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния сборного и монолитного железобетонного каркаса двенадцатиэтажного здания // Системные технологии. 2018. № 3 (28). С. 68-73.
 10. Шеина С.Г., Кравченко Г.М., Томашук Е.А., Костенко Д.С. Влияние конструктивного решения каркаса высотного здания на экономические показатели инвестиционного проекта // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4886.
 11. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673.
-

12. Yudina Antonina, Ponomarev Mikhail. Application of exposed concrete at erection of monolithic buildings // Architecture and Engineering, 2016, Vol.1, №2, pp. 73-88.

13. Owczarska Kamila, Szmigiera Elzbieta. The on-site example of influence of selected factors on the quality of monolithic reinforced concrete elements // MATEC Web of Conferences. 284, 07004 (2019), ICSF 2019. DO: 10.1051/matecconf/201928407004.

14. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение. 2014. № 12-2. С. 496-499.

15. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Прочность и деформативность коротких усиленных стоек при малых эксцентриситетах // Инженерный вестник Дона, 2014, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734.

16. Karabinis A.I., Kiouisis P.D. Strength and Ductility of Rectangular Concrete Columns a Plasticity Approach // Journal of Structural Engineering, Vol.122, № 3 (1996). pp. 267-274.

17. Мониторинг цен. URL: mcena.ru/metalloprokat/armatura/a500_dinamica.

18. Мосбетонторг. Официальный сайт. URL: mosbetontorg.ru/prays-list.

References

1. Kravchuk E.V. Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. 2019. Vol. 1. № 3. pp. 359-362.

2. Senin N.I. Vestnik MGSU. 2013. № 11. pp. 76-83.

3. Kashina I.V., Zakieva N.I., Kaliberda D.V., Kim K.A., Livinsky D.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6280.

4. Trekin N.N., Kodysh E.N. Vestnik MGSU. 2011. № 2-1. pp. 39-43.



5. Dmitrieva T.L., Nguyen V.T. Vestnik ISTU. 2015. № 3-98. pp. 134-142.
 6. Nguyen V.T., Kazharsky V.V. Vestnik IrGTU. 2014. № 5-88. pp. 107-114.
 7. Design of Modern Highrise Reinforced Concrete Structures, Vol., 3, edited by H. Aoyama, Imperial College Press (2001). 460 p.
 8. Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Effektivnye betony dlya sovremennogo vysotnogo stroitel'stva [Effective concrete for modern high-rise construction]. Moskva: OOO " NIPKTs Voskhod-A ", 2010. 144 p.
 9. Morozova D.V., Bobok A.V. Sistemnye tekhnologii. 2018. № 3 (28). pp. 68-73.
 10. Sheina S.G., Kravchenko G.M., Tomashuk E.A., Kostenko D.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4886.
 11. Mayilyan D.R., Polskoy P.P., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673.
 12. Yudina Antonina, Ponomarev Mikhail. Architecture and Engineering, 2016, Vol.1, №2, pp. 73-88.
 13. Owczarska Kamila, Szmigiera Elzbieta. MATEC Web of Conferences. 284, 07004 (2019), ICSF 2019. DO: [10.1051/matecconf/201928407004](https://doi.org/10.1051/matecconf/201928407004).
 14. Polskoy P.P., Mayilyan D.R., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 12-2. pp. 496-499.
 15. Mayilyan D.R., Polskoy P.P., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734.
 16. Karabinis A.I., Kioussis P.D. Journal of Structural Engineering, Vol.122, № 3 (1996). pp. 267-274.
 17. Monitoring tsen [Price monitoring]. URL: mcena.ru/metalloprokat/armatura/a500.
-



18. Mosbetontorg [Mosbetontorg]. Official site. URL:
mosbetontorg.ru/prays-list.