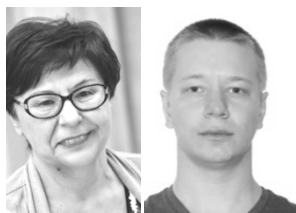


СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Строительные конструкции, здания и сооружения

УДК 69.032.22



И.С. Казакова, А.Э. Иньков
Вологодский государственный университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АУТРИГЕРОВ В СТВОЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

В статье приведены рекомендации по выбору оптимальной ствольной конструктивной схемы высотного здания в зависимости от требуемой высоты здания и расположения аутригеров. В исследовании использованы современные средства САПР для конструирования схем, расчета усилий, перемещений и подбора сечений элементов. Работа опирается на современную отечественную нормативную базу.

Высотные здания, ствольная конструктивная схема, аутригеры, эффективность.

Проблема увеличения плотности застройки в городах приводит к повышенному интересу проектирования высотных зданий как за рубежом, так и в нашей стране. В связи с этим выбор конструктивной схемы высотного здания является актуальным, поскольку конструктивная схема влияет на экономичность проектного решения здания.

Целями данного исследования является определение влияния аутригеров, введенных в ствольную конструктивную схему здания, на эффективность использования этой конструктивной схемы.

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

1. Корректное формирование расчетных схем в САПР «SCAD» v21.1.
2. Сбор нагрузок и формирование расчетных сочетаний нагрузок согласно требованиям СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [1].
3. Формирование расчетных сочетаний усилий и перемещений в САПР «SCAD» v21.1.
4. Определение расчетных усилий в несущих элементах конструктивных схем.
5. Подбор и унификация сечений стальных элементов по ГОСТ Р 57837-2017 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок» [2] для колонн и ригелей.
6. Калькуляция материалов для возведения надземных несущих конструкций.
7. Сравнение расхода стали и бетона на 1 м² полезной площади здания для разных конструктивных схем.
8. Составление локальных сметных расчетов на возведение каркаса зданий.
9. Сравнение финансовых затрат на 1 м² полезной площади здания для разных конструктивных схем.
10. Визуализация результатов проведенных исследований.

Выбор каждой конструктивной схемы осуществлялся в соответствии с исследованиями, проведен-

ными ранее и представленными в работах В. Шуллера [3], Х. Энгеля [4], А.О. Баранова [5], М.В. Козлова и Е.Л. Безбородова [6]. Результаты расчета после проверки на соответствие требованиям СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные» [7] сравнивались между собой и оценивались аналитически.

В рассматриваемой схеме под стволом жесткости подразумевается железобетонный лестнично-лифтовый узел, который выполнен в виде замкнутого пространственного стержня-трубы. Он проходит по всей высоте здания и является основной несущей конструкцией, которая воспринимает часть вертикальных нагрузок и все горизонтальные нагрузки. Ствол жестко зашпелен в фундаменте. Горизонтальные диски перекрытия равномерно располагаются по высоте, выполняют роль диафрагм и обеспечивают геометрическую неизменяемость стержня. Остальные вертикальные конструкции представлены связевым каркасом вокруг ствола жесткости и воспринимают небольшой процент горизонтальных нагрузок. Основное их назначение – восприятие и передача вертикальной нагрузки.

В работе рассматривается жилое здание высотой 40, 50 и 60 этажей (и общей высотой 132, 165 и 198 м соответственно), имеющее ствольную конструктивную схему при разном размещении аутригеров в здании, аналогично тому, как это сделано в работе [8] для оболочково-рамной (читать далее оболочковой) конструктивной схемы. Узлы присоединения ригелей каркаса к колоннам выполнены шарнирно. Узлы соединения ригелей с ядром жесткости также шарнирные. Таким образом, горизонтальные элементы каркаса освобождаются от возникающих в нем изгибающих моментов вокруг местных осей элементов Z, Y. Расчетная модель здания из программы SCAD v21.1 представлена на рисунке 1, схема расположения несущих конструкций высотного здания показана на рисунке 2.

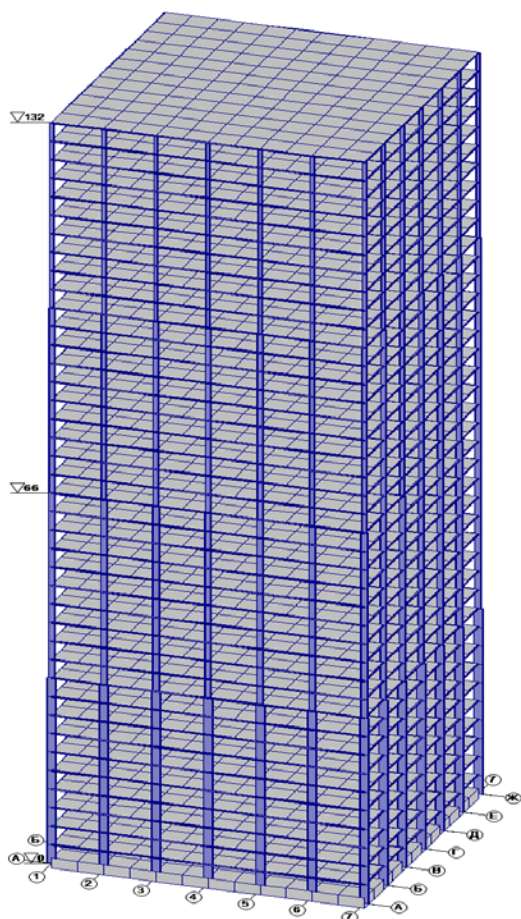


Рис. 1. Расчетная схема ствольно-каркасной конструкции

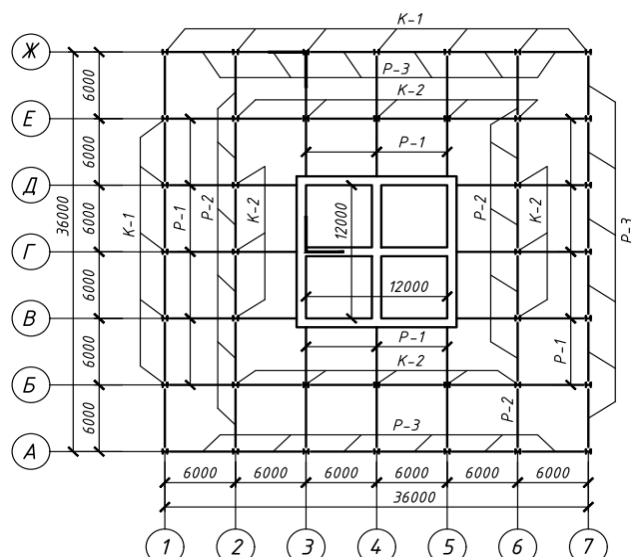


Рис. 2. Схема расположения несущих конструкций высотного здания ствольно-каркасной конструктивной схемы: K-1, K-2 – колонны каркаса; P-1, P-2, P-3 – ригели каркаса

По расчетным сочетаниям усилий производился подбор сечений стальных элементов, разбитых на группы унификации. Элементы принимались двутаврового сечения по ГОСТ Р 57837-2017 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок» [2]. Сечения с низким коэффициентом использования (такие как ригели каркаса) принимались конструктивно. В результате подбора были получены сечения по группам унификации, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Ведомость стальных элементов ствольной схемы со связевым каркасом

№ п/п	Название	Марка стали	Подобранное сечение проката	Критический фактор	Коэффициент использования
1	Наружные колонны 1–10 этаж	C440	┒ 100Ш2	Устойчивость из плоскости действия момента M_u при внецентренном сжатии	0,95
2	Наружные колонны 11–20 этаж	C440	┒ 70Ш2	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	0,965
3	Наружные колонны 21–30 этаж	C440	┒ 60Ш1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	0,944
4	Наружные колонны 31–40 этаж	C440	┒ 45Ш1	Устойчивость плоской формы изгиба	0,975
5	Колонны 1–10 этаж	C440	┒ 100Ш3	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,899
6	Колонны 11–20 этаж	C440	┒ 50Ш4	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,999
7	Колонны 21–30 этаж	C390	┒ 40Ш2	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,994
8	Колонны 31–40 этаж	C390	┒ 35Ш1	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,832
9	Ригели каркаса 1–20 этаж	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,151
10	Ригели каркаса 21–40 этаж	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,181
11	Ригели типовых этажей	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,569
12	Ригели технических этажей	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,579

Согласно СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные» [7] производились: расчет суммарного горизонтального перемещения верха здания, расчет форм колебаний, расчет на устойчивость формы и положения, расчет прогибов плит перекрытия типового и технического этажей, расчет максимального ускорения перекрытий верхних этажей. По результатам расчетов были получены следующие параметры: суммарное горизонтальное перемещение верха здания, прогиб элементов перекрытия типового и технического этажа, коэффициенты запаса устойчивости формы и положения, ускорение колебаний перекрытия верхнего этажа здания.

В работе приводится сравнение одинаковых по принципу работы конструктивных схем с разным положением аутригеров по высоте. Критериями сравнения являются значения оцениваемых параметров и расход материалов.

Для схемы 40-этажного здания были рассмотрены варианты с расположением этажей жесткости на (в скобках указан код схемы):

- 20 и 40 этажах – (40-12);
- 20 этаже – (40-1);
- 40 этаже – (40-2).

Здесь 40 – количество этажей в здании, цифра 1 указывает расположение аутригеров на 1/2 высоты здания, цифра 2 – наверху здания.

Для схемы 50-этажного здания были рассмотрены варианты с расположением этажей жесткости на (в скобках указан код схемы):

- 17, 34 и 50 этажах – (50-123);
- 17 и 34 этажах – (50-12);
- 50 этаже – (50-3).

Здесь 50 – количество этажей в здании, цифра 1 указывает расположение аутригеров на 1/3 высоты здания, цифра 2 – на 2/3 высоты здания, цифра 3 – наверху здания.

Для схемы 60-этажного здания были рассмотрены варианты (рис. 3) с расположением этажей жесткости на (в скобках указан код схемы):

- 20, 40 и 60 этажах – (60-123);
- 20 и 40 этажах – (60-12);
- 60 этаже – (60-3).

Здесь 60 – количество этажей в здании, цифра 1 указывает расположение аутригеров на 1/3 высоты здания, цифра 2 – на 2/3 высоты здания, цифра 3 – наверху здания.

Результаты параметров для каждой схемы приведены в таблицах 2 и 3, для удобства сравнения туда также внесены параметры схем без аутригеров.

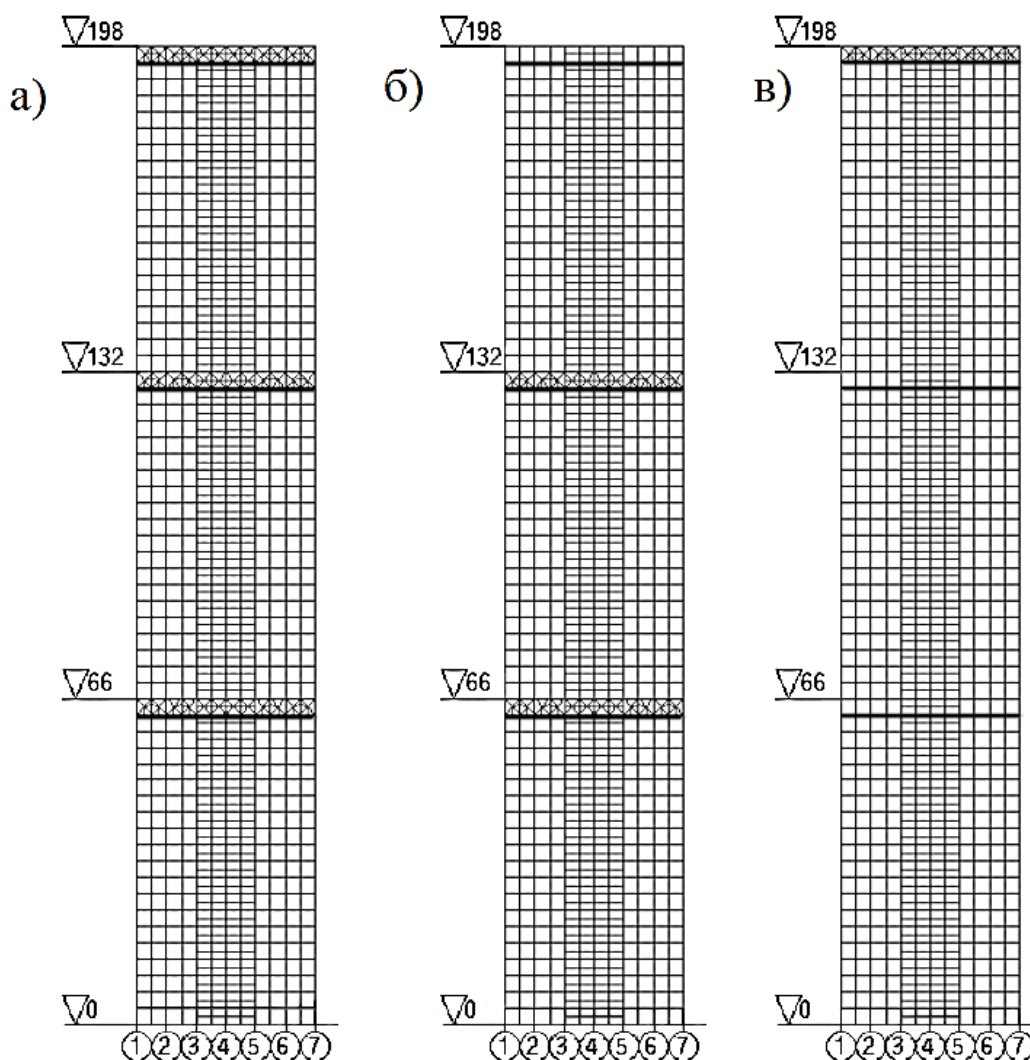


Рис. 3. Расположение аутригеров в 60-этажном высотном здании со ствольной конструктивной схемой: а) 60-123; б) 60-12; в) 60-3; толстой линией показано перекрытие технического этажа

Параметры ствольных схем высотных зданий

Ствольная схема							
Код схемы	Кол-во этажей	Расположение аутригеров на этажах	Значение	Параметры			Ускорение колебаний верхнего этажа, м/с ²
				Горизонтальное перемещение, мм	Прогиб перекрытия, мм		
				Технический этаж	Типовой этаж		
40	40	-	Расчетное значение	102,0	10,4	8,7	0,054
40-12		20, 40		93,0	9,1	8,0	0,05
40-1		20		90,3	10,3	7,0	0,053
40-2		40		97,5	9,0	8,0	0,055
				Предельное значение	h/500=264	1/200=30	1/200=30
50	50	-	Расчетное значение	193,4	16,5	12,5	0,065
50-123		17, 34, 50		159,5	16,9	8,4	0,06
50-12		17, 34		153,5	16,4	5,9	0,061
50-3		50		177,1	16,6	9,6	0,062
				Предельное значение	h/500=330	1/200=30	1/200=30
60	60	-	Расчетное значение	358,4	18,6	17,4	0,069
60-123		20, 40, 60		294,9	10,0	8,6	0,078
60-12		20, 40		291,2	10,9	9,8	0,07
60-3		60		333,7	14,7	13,3	0,071
				Предельное значение	h/500=396	1/200=30	1/200=30

Таблица 3

Сводная ведомость расхода материалов для ствольных схем

Ствольная схема												
Код схемы	40	40-12	40-1	40-2	50	50-123	50-12	50-3	60	60-123	60-12	60-3
Количество этажей	40				50				60			
Расположение аутригеров на этажах	-	20, 40	20	40	-	17, 34, 50	17, 34	50	-	20, 40, 60	20, 40	60
Расход стали на 1 м ² полезной площади здания, кг/м ²	94,1	94	106	99,8	127,3	109,5	127,6	139	100,6	114,9	132	153,4
в т.ч. двутавров, кг/м ²	42,3	33,4	38,2	34,7	50,3	40,4	47,7	42,7	51,7	41,7	44,3	45,8
в т.ч. арматуры, кг/м ²	51,8	60,6	67,8	65	76,9	69,1	79,9	96,3	49	73,3	87,7	107,7
Расход бетона на 1 м ² полезной площади здания, м ³ /м ²	607,4	620	613,7	613,7	613,3	628,5	623,4	618,3	649,3	661,9	657,7	653,5
в т.ч. на ядро и аутригеры	390,8	403,4	397,1	397,1	394,9	410,2	405,1	400	434,2	446,8	442,6	438,4
в т.ч. на перекрытия	216,6	216,6	216,6	216,6	218,3	218,3	218,3	218,3	215,1	215,1	215,1	215,1

Сравнение конструктивных схем 40-, 50- и 60-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой при разном расположении аутригеров по горизонтальным перемещениям и приведенным показателям расхода стали и бетона приведено на рисунках 4–6.

Почти во всех 40-, 50- и 60-этажных высотных зданиях со ствольной конструктивной схемой введение аутригерных конструкций благотворно влияет на контролируемые параметры. Введение этажа жесткости в середине 40-этажного высотного здания со ствольной конструктивной схемой дало уменьшение горизонтальных перемещений на 11 %. В 50-этажных зданиях аутригеры на 17 и 34 этаже обеспечили уменьшение горизонтальных перемещений на 21 %, что больше, чем в высотном здании той же высоты с

оболочковой конструктивной схемой (для оболочковой уменьшение на 15 %) [8]. Установка аутригеров в 60-этажном здании на уровне 1/3 и 2/3 от общей высоты (20 и 40 этажи) уменьшила горизонтальные перемещения на 19 %, что также больше, чем для такого же здания с оболочковой конструктивной схемой (для оболочковой уменьшение на 12 %) [8].

Разница в увеличении расхода бетона на 1 м² полезной площади между всеми схемами ствольных высотных зданий с аутригерами составляет 1–2 %, что близко к данному показателю для оболочковой конструктивной схемы. От введения в схему аутригеров объем бетона увеличивается только на количество, необходимое для обетонирования ферм на технических этажах.

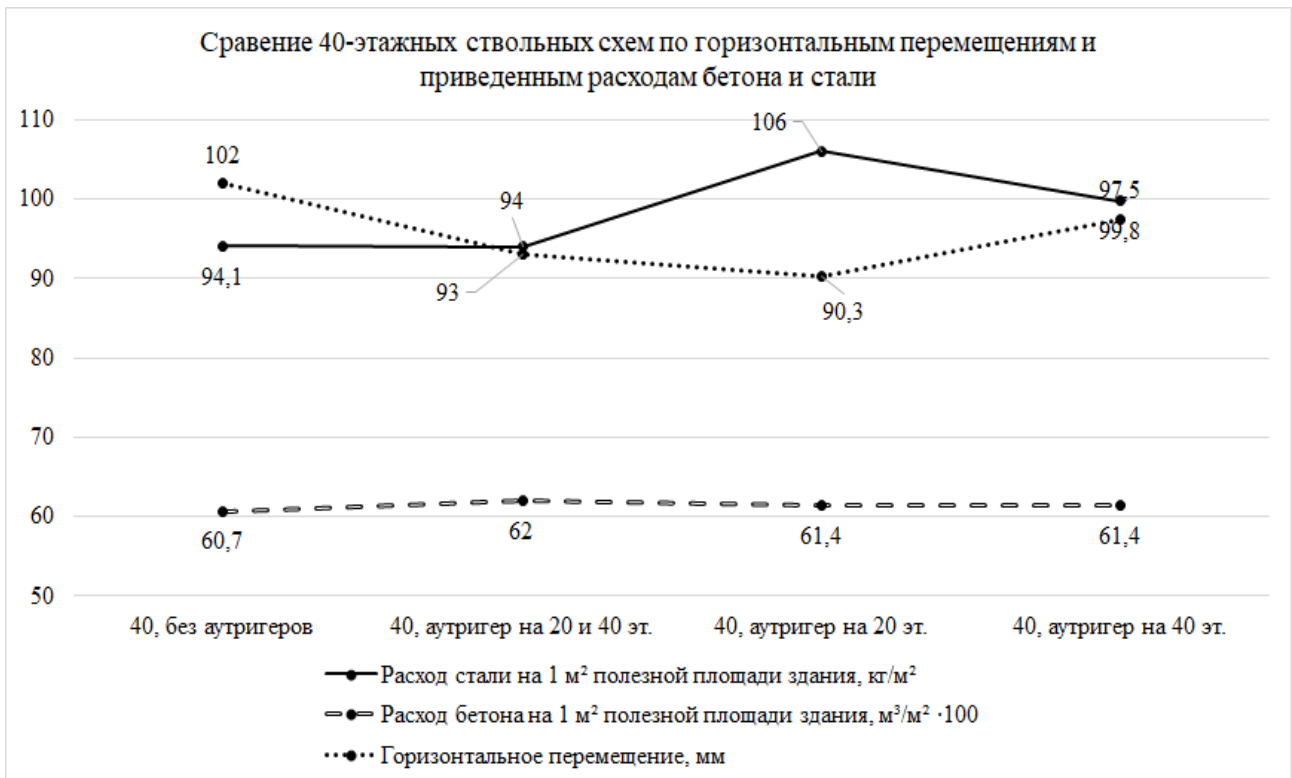


Рис. 4. Диаграмма сравнения приведенных показателей для 40-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой

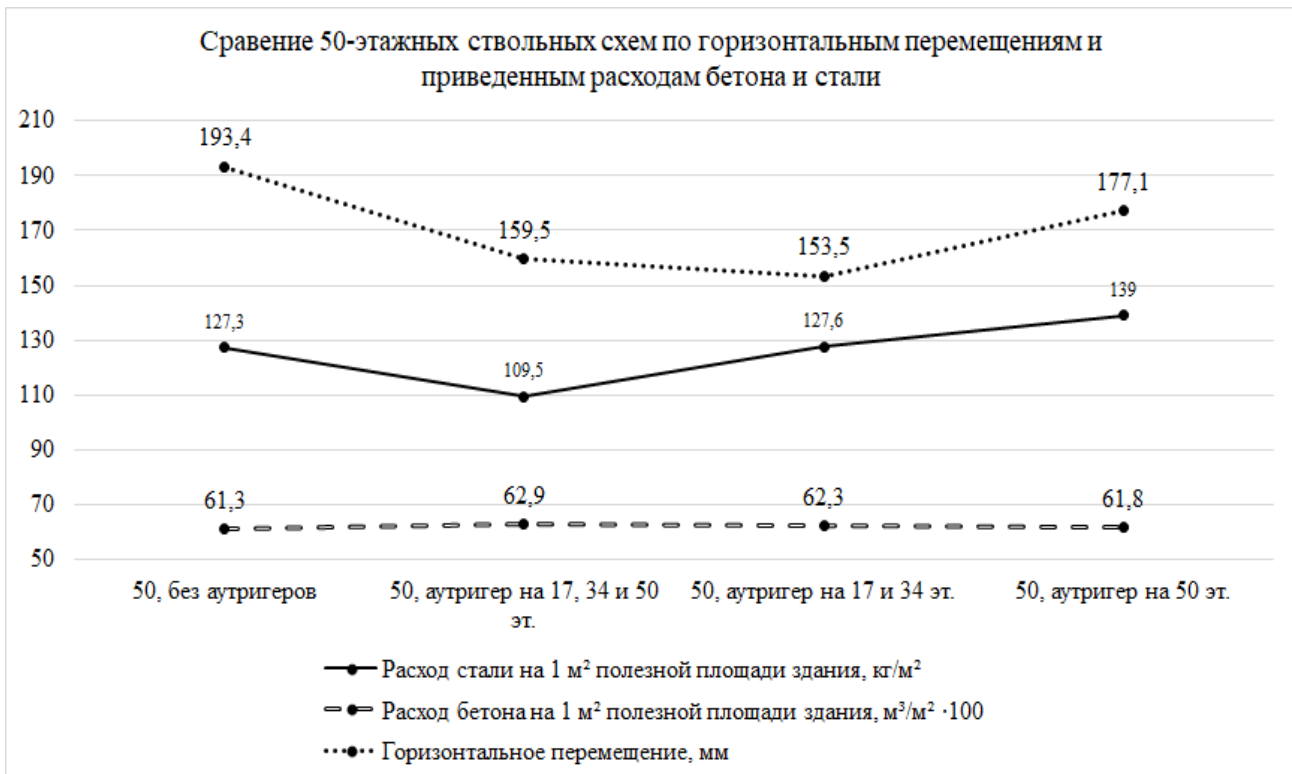


Рис. 5. Диаграмма сравнения приведенных показателей для 50-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой

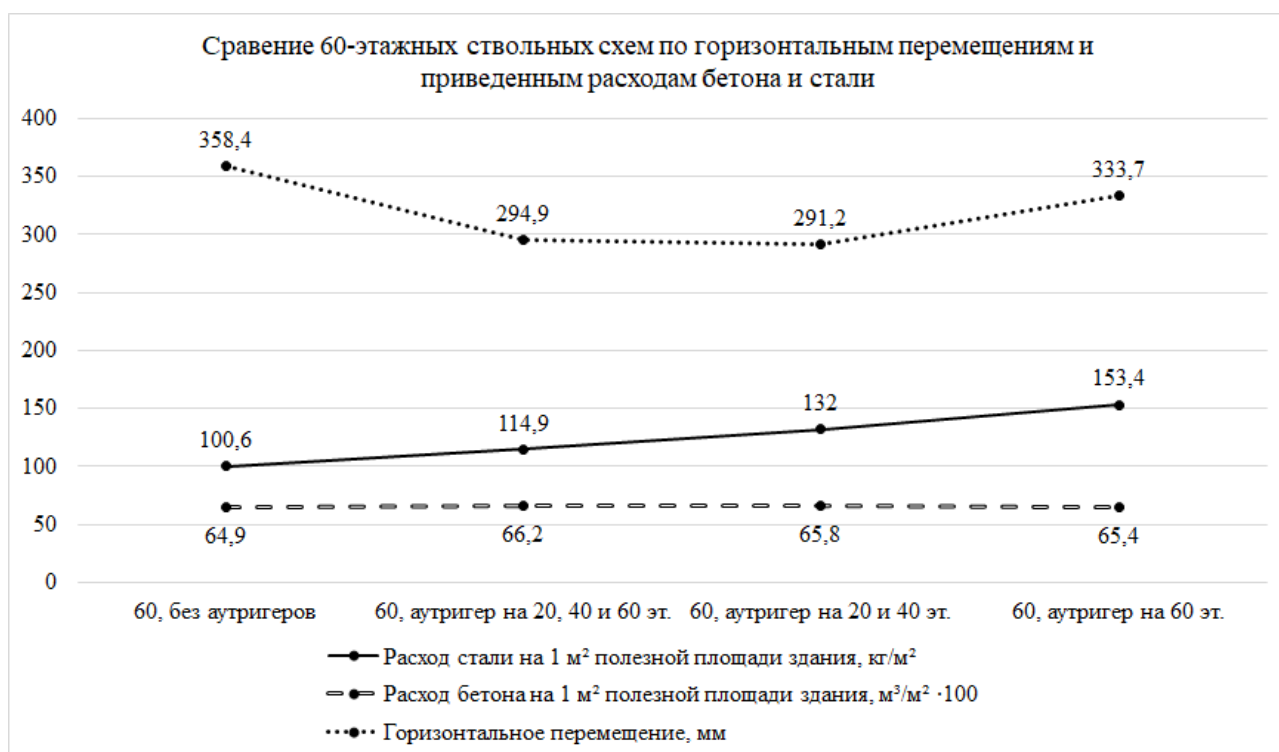


Рис. 6. Диаграмма сравнения приведенных показателей для 60-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой

Расход стали на 1 м² зависит от эффективности примененного конструктивного решения. В схемах высотой 50 этажей введение аутригеров на каждом техническом этаже (17, 34 и 50) позволило уменьшить расход стали на 14 % для ствольной конструктивной схемы, что немного больше, чем при том же размещении аутригеров в зданиях такой же этажности с оболочковой конструктивной схемой (для оболочковой на 12 % [8]). При расположении аутригерных конструкций на 20 и 40 этаже в ствольно-каркасной схеме высотой 40 этажей и на 17 и 34 уровне 50-этажных схем общий расход стали на 1 м² остался прежним (разница <0,3 %) за счет уменьшения массы арматуры. В остальных вариантах по сравнению со схемами без аутригеров масса стали увеличилась. Самый неэффективный вариант – расположение аутригера в 60-этажном здании на 1/3 и 2/3 высоты – потребовалось значительное армирование перекрытий из-за возникновения в них дополнительных усилий. Такая ситуация иногда может возникать, поэтому необходимо при установке аутригеров в схему обязательно учитывать работу перекрытия [9].

Для уникальных объектов механизм ценообразования строительства имеет специфические особенности. Каждое такое здание строится по индивидуальному проекту и в разных условиях. Поэтому цена на строительную продукцию определяется персонально на каждый объект на основе сметной документации. Цена зависит от выбранной технологии производства работ, единичных расценок на отдельные виды работ и их объемов, района строительства, необходимости корректировки (индексации) цен по времени.

Принципы ценообразования в строительстве определяются условиями рыночных отношений [10]. Состав, содержание и порядок разработки сметной документации прописаны в приказе Минстроя РФ от

04.08.20 № 421/пр об утверждении методики определения сметной стоимости строительства [11].

Сметная стоимость строительства определялась базисно-индексным методом в двух уровнях цен: базисном и текущем. Для определения стоимости в базисном уровне цен были использованы единичные расценки. Для материальных ресурсов, у которых отсутствует информация о сметных ценах в базисном уровне, сметная цена формировалась на основании расчета и конъюнктурного анализа текущих цен от трех производителей. Сметная стоимость в текущем уровне цен рассчитывается как произведение сметной стоимости в базисном уровне цен на индекс изменения сметной стоимости.

В рамках исследования выполнен локальный сметный расчет на возведение несущих конструкций для каждого варианта конструктивных схем здания для каждой исследуемой высоты.

Для вычислений использовались федеральные сборники единичных расценок (ФЕР). Расчет производился в ценах на 01.01.2000, которые были переведены в цены на I квартал 2021 года согласно приложению 1 к письму Минстроя России от 24.02.2021 № 6799-ИФ/09 [12]. Определение сметной стоимости нормы накладных расходов принято в процентах от фонда оплаты труда по видам работ в соответствии с МДС 81-33.2004 [13]. Определение текущей стоимости нормы сметной прибыли приняты по видам работ от фонда оплаты труда в соответствии с МДС 81-25.2001 [14].

Сравнение стоимости возведения несущих конструкций надземной части высотных зданий, имеющих ствольную конструктивную схему, приведены в таблице 4 и на рисунке 7. Для сравнительного анализа в таблице 4 и на рисунке 7 приведена стоимость возведения несущих конструкций надземной части зданий оболочковой конструктивной схемы из [8].

Сравнение стоимости возведения несущих конструкций высотных зданий со ствольной и оболочковой конструктивной схемами

Код схемы	Кол-во этажей	Расположение аутригеров на этажах	Стоимость возведения несущих конструкций надземной части здания, тыс. руб.	
			Ствольная схема	Оболочковая схема
40	40	-	1 297 669	1 299 661
40-12		20, 40	1 280 062	1 339 044
40-1		20	1 342 929	1 420 013
40-2		40	1 295 096	1 353 344
50	50	-	1 848 460	1 831 488
50-123		17, 34, 50	1 714 832	1 733 664
50-12		17, 34	1 830 622	1 822 152
50-3		50	1 736 900	1 757 912
60	60	-	2 153 115	2 179 169
60-123		20, 40, 60	2 163 065	2 183 095
60-12		20, 40	2 269 109	2 601 870
60-3		60	2 412 490	2 466 333

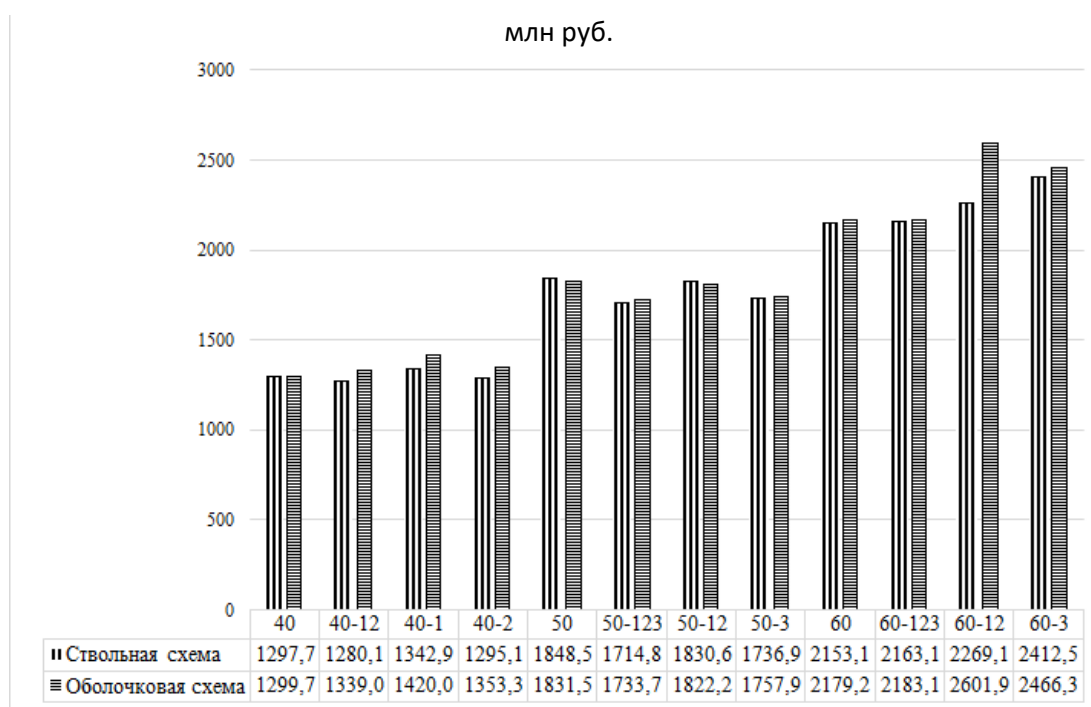


Рис. 7. Стоимость возведения несущих конструкций надземной части здания

Сравнение приведенной стоимости возведения несущих конструкций высотных зданий со ствольной и оболочковой конструктивной схемами

Код схемы	Кол-во этажей	Расположение аутригеров на этажах	Цена за 1 м ² полезной площади, тыс. руб	
			Ствольная схема	Оболочковая схема
40	40	-	29,64	29,69
40-12		20, 40	29,24	30,59
40-1		20	30,68	32,44
40-2		40	29,58	30,92
50	50	-	34,14	33,83
50-123		17, 34, 50	31,67	32,02
50-12		17, 34	33,81	33,65
50-3		50	32,08	32,47
60	60	-	32,79	33,19
60-123		20, 40, 60	32,94	33,25
60-12		20, 40	34,56	39,62
60-3		60	36,74	37,56

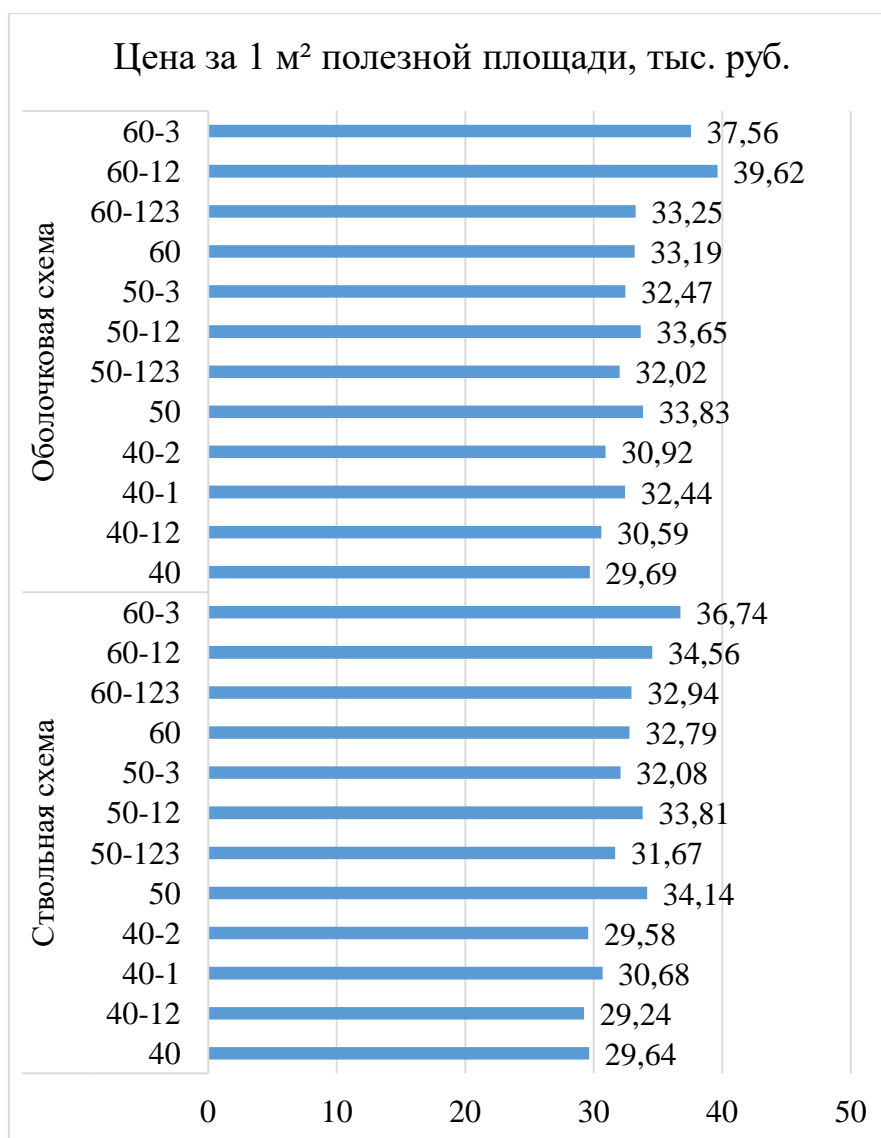


Рис. 8. Сравнение приведенной стоимости несущих конструкций

Высотные здания с оболочковой конструктивной схемой по многим статьям расходов (в основном, требуется меньше арматуры) экономичнее ствольной. Однако площадь защищаемых поверхностей в оболочковой схеме больше из-за большего количества элементов и необходимости их антикоррозионной обработки и огнезащиты, что приводит к удорожанию.

В таблице 5 и на рисунке 8 представлено сравнение приведенной стоимости (в расчете на 1 м² полезной площади) строительства несущих конструкций надземной части высотных зданий разных конструктивных схем.

Из анализа таблицы 5 и рисунка 8 следует, что для 40-этажных высотных зданий со ствольной или оболочковой конструктивной схемой введение аутригеров не дает значительного экономического эффекта по сравнению с системами без аутригерных этажей. Для 60-этажных высотных зданий для обеих конструктивных схем (ствольной или оболочковой) введение аутригеров приводит к незначительному удорожанию.

Стоимость 1 м² для 50-этажного здания со ствольной конструктивной схемой уменьшается при уста-

новке аутригерных конструкций по любому из предложенных вариантов, самый выгодный – установка аутригеров на каждом из технических этажей, что дает экономию 7,8 %. Аналогично получается для оболочковой конструктивной схемы, однако с меньшим экономическим эффектом (экономию 5,7 %).

Литература

1. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : введен 04.06.2017. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 74 с.
2. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия (с поправкой) : введен 2018-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 50 с.
3. Шуллер, В. Конструкции высотных зданий / В. Шуллер. – Москва : Стройиздат, 1979. – 248 с.
4. Энгель, Х. Несущие системы / Х. Энгель. – Москва : Астрель, 2007 – 344 с.
5. Баранов, А. О. Конструктивные решения высотных зданий / А. О. Баранов // Alfabuild. – 2018. – Т. 5, № 3. – С. 33–51.

6. Козлов, М. В. Конструктивные схемы высотных зданий / М. В. Козлов, Е. Л. Безбородов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 1. – С. 153–160.
7. СП 267.1325800.2016. Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – Введ. 30.12.2016. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 154 с.
8. Казакова, И. С. Использование аутригеров в оболочково-рамной конструктивной схеме высотных зданий / И. С. Казакова, А. Э. Иньков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 3. – С. 55–62.
9. Проектирование аутригерных систем / Hi Sun Choi, Goman Ho, Leonard Joseph, Neville Mathias // Высотные здания. – 2013. – № 5. – С. 98–101.
10. Арdziнов, В. Д. Сметное дело в строительстве: Самоучитель / В. Д. Арdziнов, Н. И. Барановская, А. И. Курочкин. – Санкт-Петербург : Питер, 2017. – 464 с.
11. Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации: приказ Минстроя РФ от 04.08.20 № 421/пр // Российская газета. – 2020. – 25 сентября.
12. О рекомендуемой величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости строительства в I квартале 2020 года, в том числе величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости пусконаладочных работ, величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости проектных и изыскательских работ, прогнозных индексов изменения сметной стоимости прочих работ и затрат, а также величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости оборудования : Письмо Минстроя России от 24 февраля 2021 г. № 6799-ИФ/09. – URL: rccs.ru/dokumenty/73-pisma/804-pismo-6799-if-09-ot-24-fevralya-2021-goda (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.
13. МДС 81-33.2004 : методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве. – URL: www.minstroyrf.gov.ru/docs/10466/ (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.
14. МДС 81-25.2001 : методические указания по определению величины сметной прибыли в строительстве. – URL: minstroyrf.gov.ru/docs/10468/ (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.

I.S. Kazakova, A.E. Inkov
Vologda State University

EFFECTIVENESS OF USING OUTRIGGERS IN TRUNK DESIGN SCHEME OF HIGH-RISE BUILDINGS

The article provides recommendations for choosing the optimal trunk structural scheme of a high-rise buildings depending on the required height of the building and the location of outriggers. The study uses modern CAD tools for designing circuits, calculating forces, displacements and selecting cross sections of elements. The work is based on the modern domestic regulatory framework.

High-rise buildings, trunk structural scheme, outriggers, efficiency.