

УДК 69.036

АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ АУТРИГЕРА

◆◆◆◆

ANALYSIS OF THE RATIONAL DESIGN OF OUTRIGGER

Западнава Екатерина Сергеевна

студентка института строительства
и транспортной инфраструктуры,
Кубанский государственный технологический университет
zapadnova-katya@yandex.ru

Леонова Анна Николаевна

кандидат технических наук, доцент кафедры
строительных конструкций института строительства и
транспортной инфраструктуры
Кубанский государственный технологический университет
lan.75@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы о необходимости применения аутригерных систем, основные их типы. Проведен анализ определения рациональной формы вертикальных связей в плане, способов их крепления к основным конструктивным элементам.

Ключевые слова: высотные здания, ядро жесткости, ветровая нагрузка, сейсмическая нагрузка, опрокидывающий момент, периметральные колонны, опоясывающая ферма, вертикальная связь, аутригерная система, демпферы, сплошной аутригер, рамный аутригер, ферменный аутригер.

Zapadnova Ekaterina Sergeevna

Student,
Institute of Construction and Transport
Infrastructure,
Kuban State University of Technology
zapadnova-katya@yandex.ru

Leonova Anna Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Building Structures of the Institute of
Construction and Transport Infrastructure,
Kuban State Technological University
lan.75@mail.ru

Annotation. Questions about the necessity of using outrigger systems and their main types are Considered. The analysis of determining the rational form of vertical connections in the plan, ways to attach them to the main structural elements.

Keywords: high-rise buildings, core of rigidity, wind load, seismic load, tipping moment, perimeter columns, girding truss, vertical connection, outrigger system, dampers, solid outrigger, frame outrigger, truss outrigger.

Все высотные здания, как правило, имеют в плане небольшие размеры. Их конструктивная особенность – наличие центрального монолитного ядра жесткости, в котором расположены лестницы, лифты, технические шахты и другие системы инженерного обслуживания. Так как ядро находится в центре здания, то происходит «смещение» центра поперечной жесткости ближе к центрам продольной ветровой и боковых сейсмических нагрузок, поэтому силы скручивания приводятся к минимуму. В местах с высокой сейсмической активностью, высотные здания имеют двойную конструктивную систему, так называемую «труба в трубе» (рис.1). Данное конструктивное решение повышает жесткость здания и сопротивление сечения скручиванию, но при этом недостаточно противостоит опрокидывающему моменту.

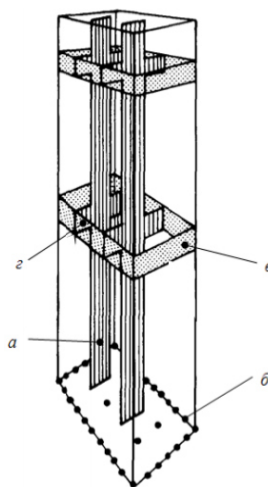


Рисунок 1 – Основные элементы высотного здания с конструктивной системой «труба в трубе»
а – вертикальный пилон (ядро жесткости); б – периметральные колонны;
в – опоясывающая ферма; г – вертикальная связь

Стоит отметить, что если поперечное сечение центрального ядра относительно большое, то оно может в достаточной степени обеспечить сопротивление опрокидывающему моменту, а также препятствовать «дрейфу» здания, но с увеличением соотношения высоты здания к его поперечному сечению, работа центрального ядра становится менее эффективной.

В момент, когда работа структуры здания по контролю за его «дрейфом» и сопротивлению опрокидывающему моменту становится чрезмерной, то тогда решается вопрос о введении в несущую конструкцию аутригерной системы [1].

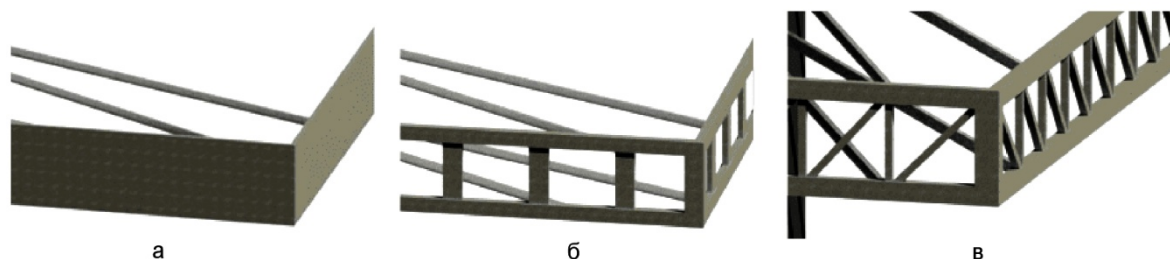
Аутригеры – жесткие горизонтальные конструкции, которые предназначены для повышения прочности здания за счет соединения ядра жесткости с наружными колоннами.

Аутригеры действуют как демпферы, уменьшая горизонтальные колебания. На самом верху здания происходят ускорения за счет ветра, который придает им динамическую составляющую, и если эти ускорения превышают определенную величину, то у людей, которые постоянно находятся в верхней части здания, может появиться морская болезнь – их будет укачивать. Поэтому величину ускорений нужно очень жестко контролировать, чтобы избежать появления дискомфорта у "населения" здания. Аутригеры служат как раз для этого – они дают возможность существенно снизить величину таких ускорений.

Как правило, аутригеры состоят из опоясывающей фермы, которая располагается по наружным колоннам, и вертикальных связей, которые соединяют центральное ядро с фермой [2, 3]. При этом в разных конструкциях аутригеры могут быть двухэтажными, без опоясывающих ферм или вовсе исключены все вертикальные связи. То есть конструкция аутригеров в отдельном высотном здании уникальна [4].

В настоящее время существует три типа аутригеров:

- сплошной (рис. 2, а);
- рамный (рис. 2, б);
- ферменный (рис. 2, в).



а

б

в

Рисунок 2 – Типы аутригеров

а – сплошной аутригер; б – рамный аутригер; в – ферменный аутригер

Наиболее оптимальным вариантом конструкции является ферменный аутригер.

Аутригерная система ставит перед проектировщиком достаточно серьезные задачи, требующие однозначного решения:

– значительные нагрузки должны передаваться вдоль всего здания ядром и колоннами по периметру, при этом должна быть обеспечена минимальная площадь сечения перечисленных элементов;

– должна быть обеспечена минимальная разница продольных деформаций колонн и ядра здания. Стоит учитывать, что деформации этих элементов – это длительный процесс, который требует постоянного мониторинга; при этом необходимо брать во внимание деформации, возникающие в результате осадок здания, усадки и ползучести бетона железобетонных конструкций;

– жесткое соединение между ядром и колоннами является обязательным и предназначено для обеспечения минимальной разницы продольных деформаций колонн и ядра.

Общая конструктивная система с аутригерными этажами представлена на рисунке 3.

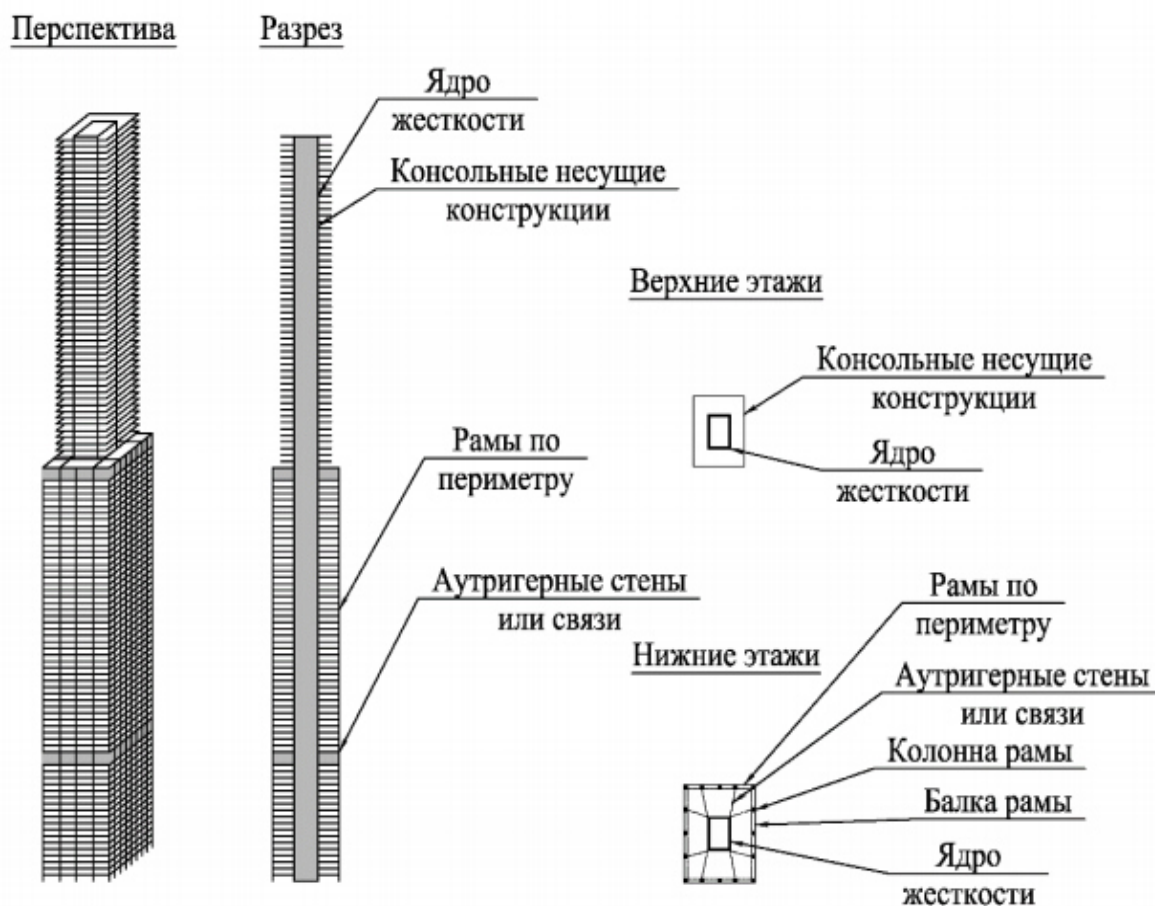


Рисунок 3 – Конструктивная система с аутригерными этажами

На основании исследований по выбору рациональной конструкции аутригера, в котором рассматривалось 60-этажное здание с аутригером на 55-м этаже (такое расположение выбрано ввиду максимальной эффективности связей), была составлена Таблица 1 – влияние формы плана вертикальных связей аутригера на податливость конструкции 60-этажного высотного здания [5].

Таблица 1. – Влияние формы плана вертикальных связей аутригера на податливость конструкции 60-этажного высотного здания

Индекс варианта	Форма плана	Расчетные критерии здания			
		Горизонтальное перемещение верха здания (f), мм	Относительное перемещение верха здания (f/H)		Максимальное ускорение (a_{vib}), мм/с ²
			Значение, $\times 10^3$	Уменьшение перемещения относительно здания без аутригера на, %	
1	2	3	4	5	6
	Без аутригера	228	0,95	0%	27,82
2А1		177	0,74	22%	25,18
Б		182	0,76	20%	25,29

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
В		185	0,77	19%	25,26
Г1		192	0,80	16%	25,39
Д		184	0,77	19%	25,30
Е		190	0,79	16%	25,42
Ж		187	0,78	18%	25,37
И		194	0,81	15%	25,50
Л		188	0,78	17%	25,50
М		180	0,75	21%	25,65
Н		195	0,81	15%	25,29
П		203	0,84	11%	25,41
Р		208	0,86	9%	25,67
С		198	0,83	13%	25,52

Наиболее жесткая конструкция аутригера (схема А), при которой вертикальные связи установлены в каждом шаге периметральных колонн, дает уменьшение горизонтального перемещения верха здания на 22 % по отношению к зданию без этажа жесткости. Однако такой вариант труден для реализации на практике, так как в некоторых точках конструкции, например, в углах ядра жесткости, сходится достаточно большое количество элементов с жесткими узлами. Из конструктивно реализуемых вариантов наибольший выигрыш в перемещениях (19 %) дает вариант Д, в нем связи расположены равномерно по периметру обстройки и обеспечивают равномерную передачу горизонтальных воздействий на внешние колонны. Данный вариант расстановки связей конструктивно значительно проще схемы А при незначительной (менее 3 %) разнице показателей.

При сравнении схем Ж и Л установлено, что при небольшом выигрыше в перемещениях в схеме Ж на пару связей больше (по коротким сторонам здания). Таким образом, компоновка по схеме Л является более предпочтительной, так как имеет меньшее число связей (аналогично схемы М и Н).

Варианты Г и Е по рассматриваемым параметрам имеют одинаковые показатели, значит, установка вертикальных связей по длинной стороне может быть выполнена на любом удалении от углов ядра жесткости.

Постановка угловых связей, располагаемых между углами ядра жесткости и углами периметральной обстройки, дает выигрыш в горизонтальном перемещении при отсутствии вертикальных связей по короткой стороне на 5 % по сравнению со схемой без связей по углам. Так, перемещение верха (схема Л) составляет 188 мм, в то время как для схемы М – 180 мм. Вариант, при котором устанавливаются вертикальные связи по короткой стороне в комбинации с угловыми вертикальными связями, не дает существенного выигрыша в горизонтальном перемещении (схема Н). Отметим также, что

угловые вертикальные связи не компенсируют отсутствие связей по длинной стороне (схемы Н (перемещение 195 мм), П (203 мм) и Л (188 мм)). Установка только угловых связей уменьшает горизонтальное перемещение верха здания на 13% (схема С), что является наиболее низким показателем по сравнению с другими вариантами. Конструктивно вариант схемы С наиболее прост и освобождает пространство между вертикальными связями по длинным и коротким сторонам.

Величины ускорений a_{vib} в горизонтальной плоскости верха здания незначительно отличаются при разных комбинациях вертикальных связей и колеблются в диапазоне величин 25,2–25,7 мм/с².

Максимальное ускорение зафиксировано в схемах с наименьшим количеством вертикальных связей (М и Р), а минимальное – с наибольшим количеством связей (А).

Таким образом, устройство пояса жесткости в здании позволяет уменьшить горизонтальные перемещения по всей высоте, свести к минимуму колебания, которые возникают от воздействия ветровой нагрузки. Использование конструкции аутригера позволяет существенно повысить жесткость здания, снизить стоимость строительства за счет уменьшения толщины ядра здания и площади армирования.

Наиболее рациональным расположением вертикальных связей аутригера считается такое, при котором они расположены равномерно по плану здания, то есть их шаг по всему периметру здания одинаков. Не рекомендуется использовать схемы, где вертикальные связи устанавливаются только по длинной стороне здания, а особенно – только по короткой.

Литература

1. Журнал «Высотные здания». – 2013. – № 5. – URL : <http://tallbuildings.ru/ru/proektirovanie-autrigernyh-sistem> (дата обращения: 11.11.2020 г.)
2. Чхе Х.С., Хо Дж., Джосеф Л. Аутригерный дизайн для высотных зданий. – Великобритания : Рутледж, 2017. – С. 8–10.
3. Бангейл С. Таранат. Структурный анализ и проектирование высоких зданий: Конструкция из стали и композитов. – Флорида (США) : CRC Пресс, 2016. – С. 44–48.
4. Шумейко В.И. Системы поддержки уникальных высотных зданий // Международная научная конференция МАТЕС «Умный город». – СПб. : Науки EDP, 2017. – С. 106.
5. Журнал «Высотные здания». – 2014. – № 2 file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%92%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%20%23%202014.pdf (дата обращения: 11.11.2020 г.)
6. Григорьева В.П., Леонова А.Н. Аутригерные конструктивные системы // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 332–336.

References

1. Journal of High-Rise Buildings. – 2013. – № 5. – URL : <http://tallbuildings.ru/ru/proektirovanie-autrigernyh-sistem> (access date: 11.11.2020).
2. Choi H.S., Ho G., Joseph L. Outrigger Design for High-Rise Buildings. – UK : Routledge, 2017. – P. 8–10.
3. Bungale S. Taranath. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. – Florida (USA) : CRC Press, 2016. – P. 44–48.
4. Shumeyko V.I. The support systems of unique high-rise buildings // MATEC International science conference «Smart city». – SPb. : EDP Sciences, 2017. – P. 106.
5. Journal High-Rise Buildings. – 2014. – № 2 file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%92%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%20%23%202014.pdf (date of access: 11.11.2020)
6. Grigoryeva V.P., Leonova A.N. Outrigger Structural Systems // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2019. – № 4. – P. 332–336.