

УДК 69.07

DOI [10.37153/2618-9283-2023-1-54-66](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-54-66)

Проектирование, строительство и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений

К вопросу о повышении сейсмостойкости зданий подвешенного типа в районах высокой сейсмической активности

Белаш Татьяна Александровна¹, Свитлик Илья Владимирович²

¹ АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация: В связи с ростом населения городов, недостатком земельных участков и их высокой стоимостью всё большее распространение получают высотные здания. Среди высотных зданий наиболее надёжной системой, как показывает практика, является ствольная конструктивная система, разновидностью которой является ствольно-подвесная система. Эта система была реализована во многих высотных зданиях и получила широкое распространение за рубежом, в частности, в районах сейсмических воздействий. В России эта система имеет ограниченное применение, отсутствуют рекомендации по её использованию, нет сведений о характере её поведения в районах высокой сейсмической активности. Последние серьёзные исследования ствольной системы проводились в 80-х – 90-х годах 20-го века. Между тем, эта система имеет ряд важных преимуществ перед другими системами. К ним относятся существенная податливость этих конструкций, период колебаний этих систем может превышать одну секунду, что приводит к снижению сейсмической нагрузки на строительные конструкции. Кроме того, ствольная система при её реализации в виде подвесных конструкций обладает важным преимуществом, которое заключается в том, что во время колебательного процесса эти конструкции могут выполнять функции динамического гашения колебаний. Это даёт возможность не устраивать специальных дополнительных демпферных устройств при опасных сейсмических воздействиях. Между тем эта конструктивная система уязвима при сейсмических воздействиях низкочастотного характера, сопровождающихся значительными смещениями грунта. Для дальнейшего развития этой системы и возможности использования её в сейсмических районах требуется проведение дополнительных исследований, некоторые результаты которых представлены в данной статье.

Ключевые слова: высотные здания, подвесные конструкции, сейсмическое воздействие

Для цитирования: Белаш Т.А., Свитлик И.В. К вопросу о повышении сейсмостойкости зданий подвешенного типа в районах высокой сейсмической активности // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 2. С. 54–66.

DOI [10.37153/2618-9283-2023-1-54-66](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-54-66)

@ T.A.Belash, I.V.Svitlik, 2023

Design, building and reconstruction of a seismic constructions

On the issue of improving the seismic resistance of suspended buildings in areas of high seismic activity

Tatiana A. Belash¹, Ilya V. Svitlik²

¹ JSC Research Center of Construction. Moscow, Russian Federation.

² FSFEI HE Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract: The widespread use of high-rise buildings was caused by the growing population of cities and the lack of land. As practice shows, the structural system of high-rise buildings with a load-bearing core is one of the most reliable. A variety of such buildings are buildings with suspended structures. This structural system has found application in many high-rise buildings around the world, including in seismically active areas. At the same time, such a constructive solution is rarely found in Russia. We have no recommendations on the use of this structural system, and there is also no information about the behavior of suspended structures with high seismic activity. The greatest interest in the study of buildings with a load-bearing core occurred in the 80s – 90s of the 20th century. It is worth mentioning a number of important advantages of the considered constructive system. First of all, these structures have significant flexibility, which leads to an increase in the natural period of oscillations and a decrease in the seismic load on the load-bearing elements. In some cases, suspended structures of buildings with a load-bearing core act as dynamic absorbers. This makes it possible to ensure the stability and reliability of the entire building without the use of special devices. This article presents the results of some studies conducted to use a structural system with a load-bearing core and suspended floors in seismic construction areas.

Keywords: high-rise buildings; suspended structures; seismic impact

For citation: T.A. Belash, I.V. Svitlik On the issue of improving the seismic resistance of suspended buildings in areas of high seismic activity. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 2, pp. 54–66. [In Russian] DOI [10.37153/2618-9283-2023-1-54-66](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-54-66)

Введение

Здания с подвесными конструкциями на протяжении долгого времени являлись объектом научного интереса инженерного сообщества. Это обуславливалось их ключевой особенностью: податливостью подвешенных элементов здания, которая обеспечивает снижение усилий в несущих конструкциях при сейсмическом воздействии. Наиболее широкое распространение здания подвешеного типа получили среди многоэтажных зданий с жёстким ядром (рис. 1).

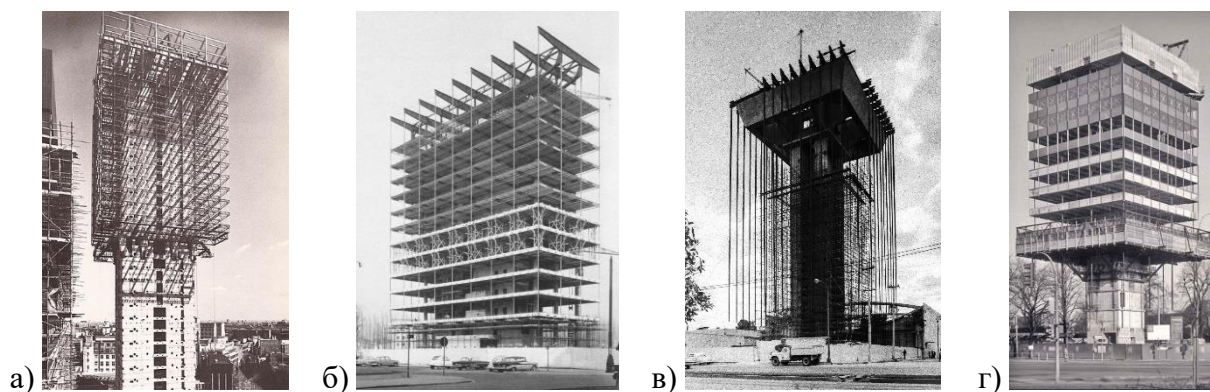


Рисунок 1 – Возведение зданий: а) St. Helen's в Лондоне; б) BP Building в Антверпене; в) Celanese Mexicana в Мехико; г) Finlandhaus в Гамбурге

Figure 1 – Construction of buildings: a) St. Helen's in London; б) BP Building in Antwerp; в) Celanese Mexicana in Mexico City; г) Finlandhaus in Hamburg

На данный момент существует достаточно большое количество предложений по обеспечению сейсмозащиты зданий с подвесными конструкциями. Так, например, повысить сейсмостойкость здания возможно за счёт установки амортизирующих устройств между подвешенными и несущими конструкциями, что предложил в Корчинский И.Л. в патенте [1] (рис. 2). Схожий подход к повышению сейсмостойкости подвесных зданий с несущим ядром можно обнаружить в ряде других отечественных патентов [2, 3, 4, 5]. Ключевым недостатком такого подхода является сложность устройства подобных соединений, а также высокая стоимость устройств с демпфирующими свойствами. В ряде работ описывается положительный эффект от внедрения в ствольно-подвесную несущую систему вязких демпферов [6, 7], полужёстких [8, 9, 10] и упругих [11, 12] соединений. Широкий диапазон характеристик подобных устройств позволяет регулировать колебания как основной, так и подвешенной части здания. Но стоит отметить, что установка большого количества демпферов, способных выдержать значительные усилия, возникающие при взаимном смещении несущего ствола и подвешенных этажей, неизбежно приведёт к существенному росту затрат на возведение здания.

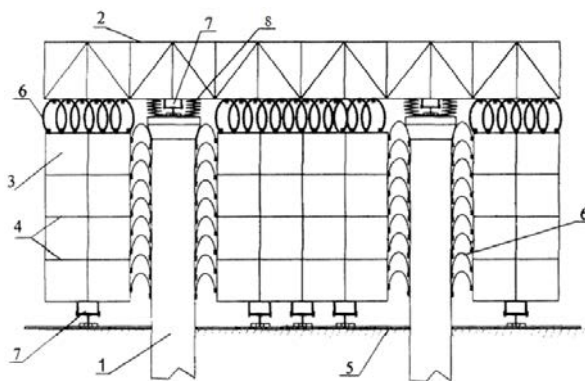


Рисунок 2 – Сейсмостойкое здание подвесного типа: 1 – опорный ствол; 2 – двухконсольная ферма; 3 – подвесная часть; 4 – перекрытия; 5 – фундамент; 6 – упругие элементы; 7 – корректоры жёсткости; 8 – сейсмоизоляционное устройство

Figure 2 – Earthquake-resistant suspended building: 1 – supporting trunk; 2 – double-pole truss; 3 – suspended part; 4 – ceilings; 5 – foundation; 6 – elastic elements; 7 – stiffness correctors; 8 – seismic isolation device

Известно, что характерной чертой зданий подвесного типа являются большие периоды собственных колебаний по сравнению со зданиями традиционного конструктивного исполнения. Эта особенность позволяет им переносить высоко- и среднечастотные землетрясения без повреждений, угрожающих целостности здания [13, 14]. При этом ствольные здания подвесного типа уязвимы при низкочастотных сейсмических воздействиях. Характерные таким землетрясениям значительные смещения грунта передаются на подвешенные конструкции, вызывая их раскачку.

Снижение перемещений подвесных конструкций может осуществляться различными способами. Одним из них является введение между подвешенными конструкциями связей, включающихся при низкочастотных сейсмических воздействиях. Увеличивая жёсткость подвешенной части, такие элементы понижают период собственных колебаний здания, тем самым снижая и его отклик на низкочастотное сейсмическое воздействие. Результаты оценки эффективности такого подхода представлены в настоящей статье.

Методы

Для проведения расчётов было смоделировано многоэтажное здание ствольно-подвесного типа. Расчётная модель представляет собой 17-этажное здание высотой 58,3 метра с несущими железобетонными ядром и консольным оголовком на его вершине. Перекрытия подвешены к оголовку при помощи 48 подвесок, выполненных из стальных канатов, по внутреннему и внешнему контуру. Перекрытия и несущий ствол здания имеют круглую форму, диаметр ствола равен 19 метрам, диаметр перекрытия – 38 метрам.

В качестве материала несущих конструкций ствола и оголовка здания принят бетон марки В45. Толщина стен ядра принята равной 500 мм. Конструкции консольного ростверка имеют различную толщину в диапазоне от 500 до 1000 мм. Толщина плит перекрытия ядра здания равна 300 мм, подвешенные плиты перекрытия обладают сечением 200 мм. Конструкции перегородок и подвешенных плит перекрытий выполнены из бетона класса по прочности В30. Балки перекрытий выполнены из стального двутавра класса С285. Для подвесок подобраны плетёные стальные канаты.

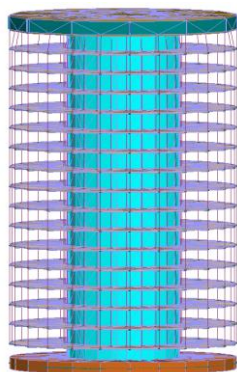


Рисунок 3 – Расчётная модель здания

Figure 3 – Calculation model of the building

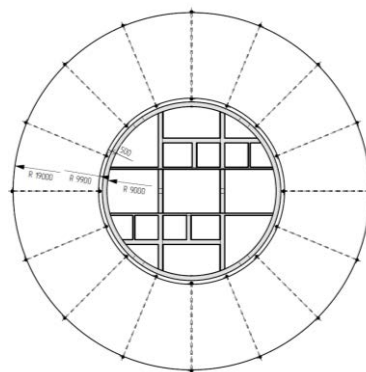


Рисунок 4 – План типового этажа моделируемого здания

Figure 4 – Plan of a typical floor of a simulated building

Для повышения сопротивляемости здания низкочастотным воздействиям разработаны расчётные модели с дополнительными связями. В первом рассматриваемом варианте в качестве включающейся связи, устанавливаемой между подвешенными этажами, используется труба круглого сечения. Круглое сечение трубы целесообразно по причине того, что она в равной степени повысит жёсткость подвесной конструкции при сейсмическом воздействии, распространяющемся в любом направлении. Однако для протяжённых в плане зданий, имеющих конкретное опасное направление распространения сейсмического воздействия, возможно использовать профили с различной жёсткостью по осям сечения. Схема расположения трубных связей в плане расчётной модели, в которой применяется первая рассматриваемая конструктивная схема, представлена на рисунке 5.

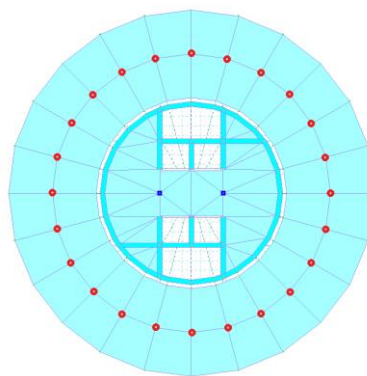


Рисунок 5 – Схема расположения трубных связей на плане

Figure 5 – Layout of pipe connections on the plan

Во втором варианте включающиеся в работу элементы выполнены в виде жёсткой вертикальной связи, устраиваемой между соседними подвешенными перекрытиями. Вертикальная связь работает только в своей плоскости, поэтому их необходимо равномерно размещать по различным направлениям. В модели с устройством жёстких вертикальных связей между подвешенными этажами план этажа условно делится на четыре части. Вертикальные связи устанавливаются между этими объемами этажа, при этом на соседних этажах эти связи повернуты на 45 градусов относительно центральной оси здания для обеспечения лучшей пространственной работы подвешенных конструкций (рис. 6).

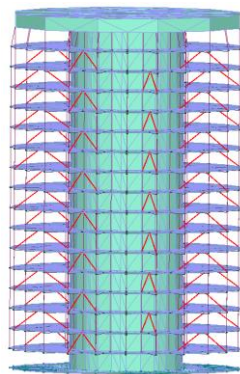


Рисунок 6 – Вертикальные связи в расчётной модели

Figure 6 – Vertical connections in the calculation model

Расчёт производился в программном комплексе ЛИРА 10.12 с использованием модуля Динамика плюс. Данный модуль позволяет производить моделирование отклика конструкции на динамические воздействия и выполнять расчёт во временной области с применением инструментальных сейсмограмм. При задании динамического нагружения сейсмограммы прикладывались к основаниям расчётных моделей как узловые нагрузки. В качестве допущения не учитывалась совместная работа здания и основания. Соединение фундаментной плиты и основания условно принято жёстким. Для канатных подвесок в расчётной модели применены геометрически нелинейные конечные элементы 304 типа «нить». Метод приложения нагрузки, то есть определение величины шага дробления нагрузки, при этом автоматически определяется программным комплексом. Для расчётных исследований в веб-базе данных о движении грунта Тихоокеанского центра инженерных исследований землетрясений были подобраны две сейсмограммы землетрясений с различными спектрами реакции: высокочастотного землетрясения, произошедшего в области Фриули, и низкочастотного, зарегистрированного в горах св. Ильи (рис. 7).

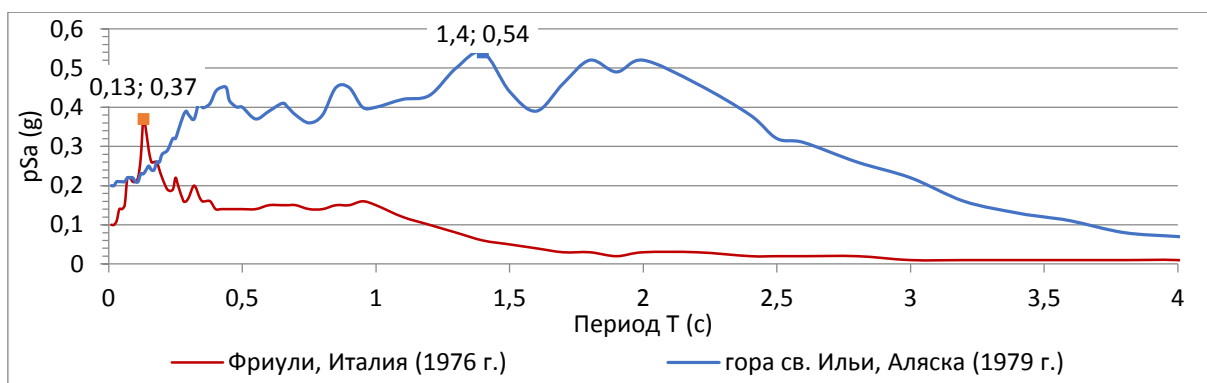


Рисунок 7 – Спектры реакции землетрясений

Figure 7 – Earthquake reaction spectra

Для анализа эффективности предлагаемых конструктивных решений были выбраны такие критерии, как усилия, возникающие в стенах ядра здания и несущих подвесках, а также перемещения элементов расчётной модели в общей системе координат.

Для иллюстрации различий в поведении подвешенных конструкций при землетрясениях с различными спектрами реакции был произведён расчёт исходной модели со свободной подвеской перекрытий без связей (рис. 8). По диаграмме видно, что верх несущего ствола

здания, на котором находится консольный ростверк, при низкочастотном землетрясении перемещается примерно в 6,1 раза дальше, чем при высокочастотном. Подвешенные перекрытия при низкочастотном землетрясении перемещаются на расстояние в 8,4 раза большее, чем при высокочастотном, что свидетельствует о возникающем эффекте раскачки. Именно для снижения этого эффекта в расчётную модель вводятся элементы, увеличивающие жёсткость подвешенной конструкции.

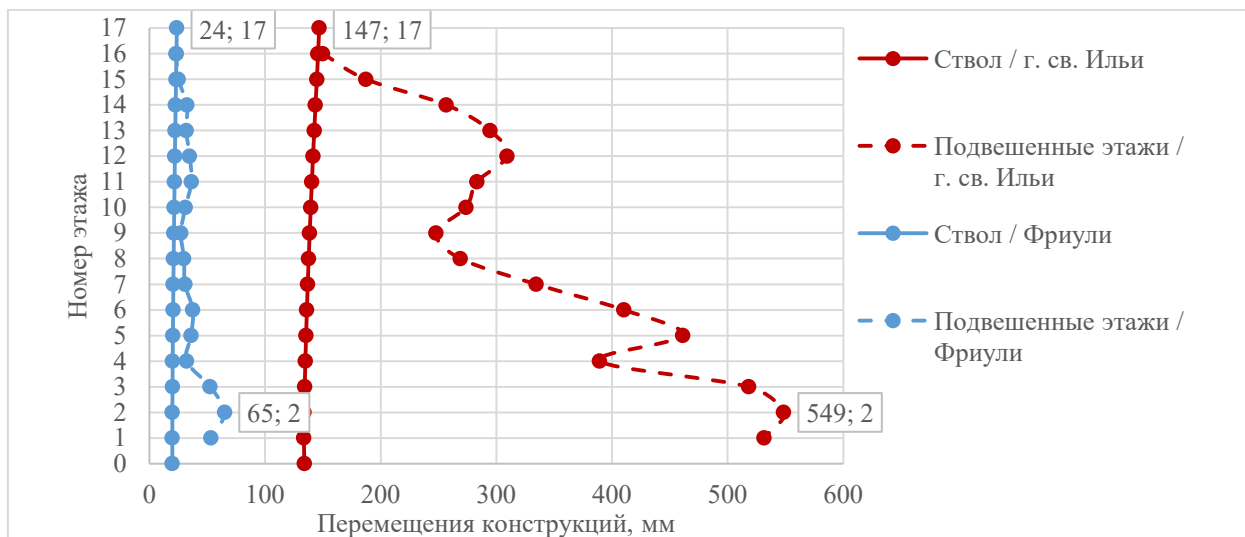


Рисунок 8 – Перемещения конструкций при сейсмическом воздействии в горах св. Ильи и районе Фриули

Figure 8 – Displacement of structures under seismic impact in the mountains of St. Elias and the Friuli region

Так как жёсткость вводимых связей, выполненных из труб, напрямую влияет на жёсткость подвешенных конструкций и, следовательно, на формы их колебаний, для расчётного исследования из сортамента ГОСТ 10704-76 были выбраны трубы следующих профилей: 219 x 8, 273 x 8, 325 x 8, 377 x 9, 530 x 9, 630 x 9. Для устройства вертикальных жёстких связей использованы квадратные трубы профиля 100 x 100 x 9.

Результаты

Фрагмент расчётного исследования представлен на рисунке 9. На данной диаграмме отображены максимальные перемещения конструкций ствола и подвешенных перекрытий расчётной модели без применения трубных связей, а также расчётной модели с трубными связями.

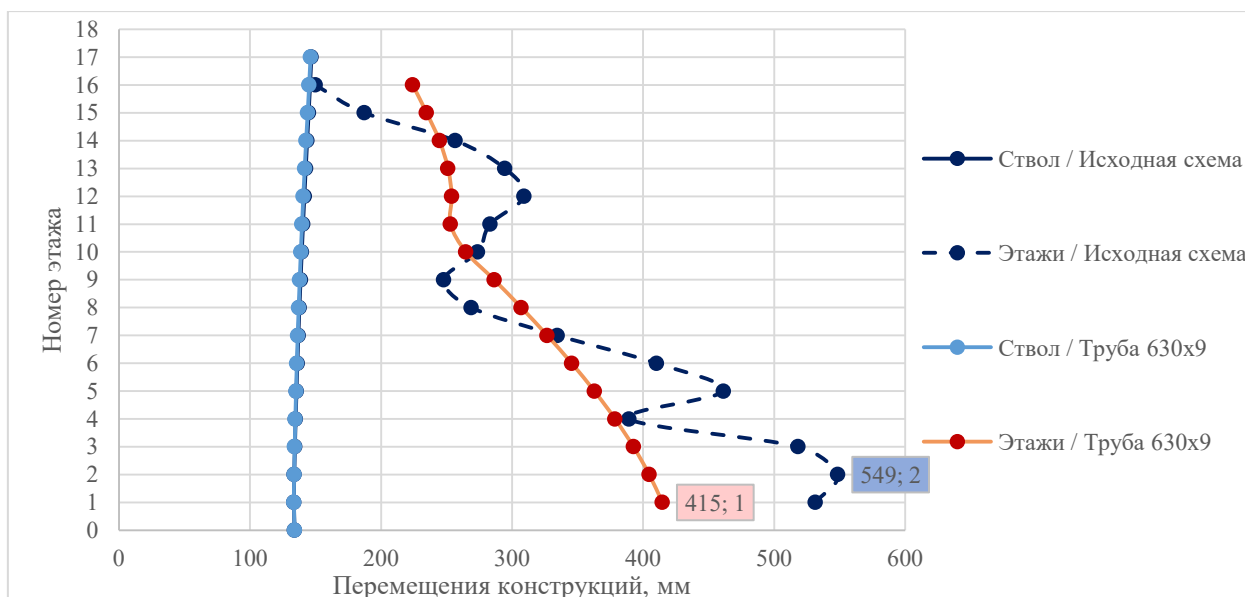


Рисунок 9 – Перемещения конструкций ствола и подвешенных перекрытий расчётных моделей при сейсмическом воздействии в горах св. Ильи

Figure 9 – Displacement of trunk structures and suspended ceilings of calculation models under seismic impact in the mountains of St. Elias

Для анализа зависимости напряжённо-деформированного состояния расчётных моделей от жёсткости связей, были вычислены суммарные жёсткости труб, добавляемых в пределах одного этажа (табл. 1).

Таблица 1 – Поперечная жёсткость связей, внедряемых в расчётную схему

Table 1 – Transverse stiffness of the links embedded in the design scheme

Схема	Момент инерции трубы I_y , см^4	Модуль упругости материала E , Н/м^2	Количество труб	Общая поперечная жёсткость, $\text{кН}\cdot\text{м}^2$
Исходная	-	-	0	0
С трубами 219 x 8	2955,4	$2 \cdot 10^{11}$	24	141859,2
С трубами 273 x 8	5851,7			280881,6
С трубами 325 x 8	10014			480672
С трубами 377 x 9	17624			845952
С трубами 530 x 9	49997			2399856
С трубами 630 x 9	66478			3190944

По результатам расчётов в программном комплексе были построены диаграммы, отражающие зависимости максимальных перемещений, ускорений и усилий в несущих элементах для исходной расчётной модели и моделей с установленными трубными связями (рис. 10–12).

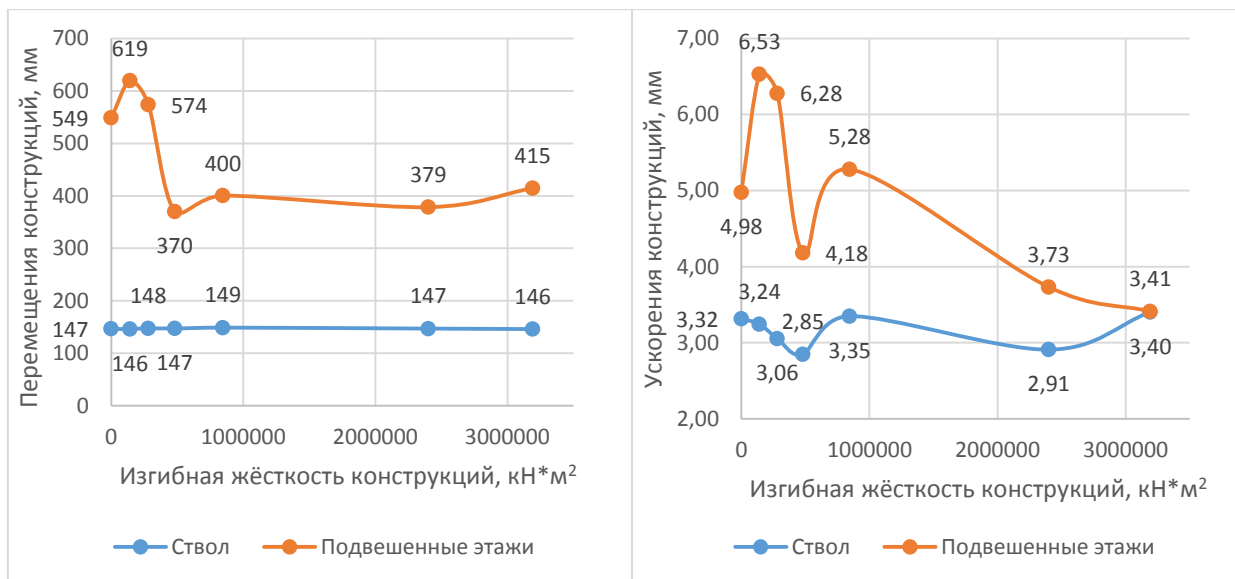


Рисунок 10 – Диаграммы максимальных: а) перемещений; б) ускорений конструкций расчётных моделей

Figure 10 – Diagrams of the maximum: a) displacements; b) accelerations of designs of computational models

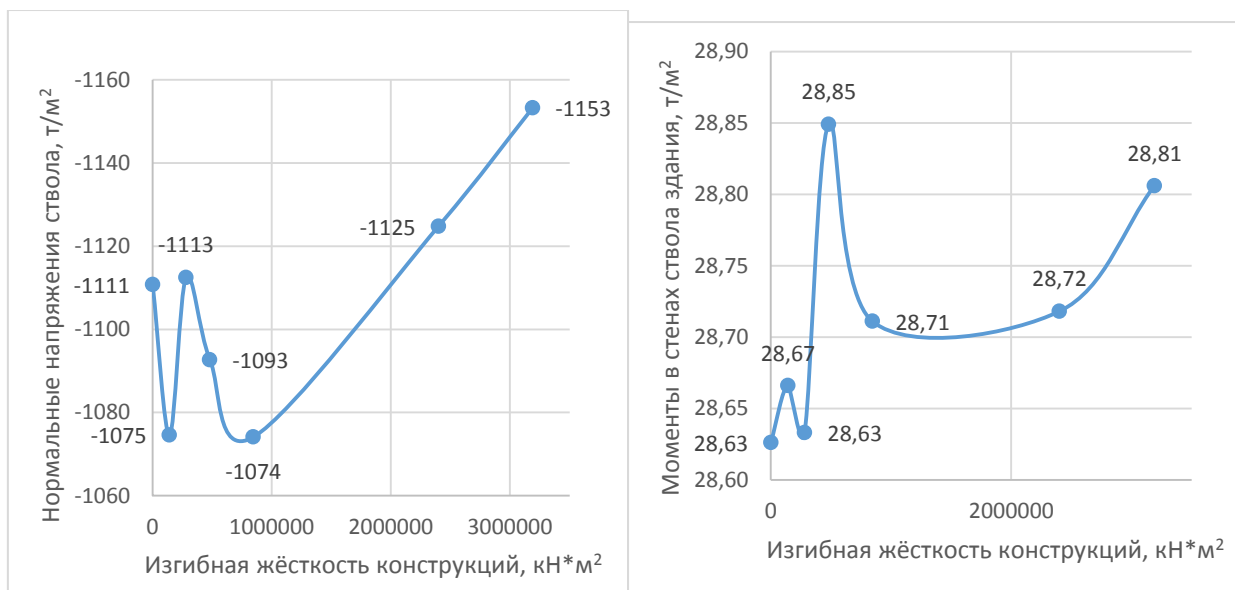


Рисунок 11 – Диаграммы максимальных а) нормальных напряжений стен ствола моделей вдоль вертикальной оси; б) моментов, действующих на сечение ортогональное оси, в стенах ствола моделей

Figure 11 – Diagrams of the maximum a) normal stresses of the walls of the trunk of models along the vertical axis; b) moments acting on the section orthogonal to the axis in the walls of the trunk of models



Рисунок 12 – Диаграмма максимальных продольных усилий в подвесках

Figure 12 – Diagram of maximum longitudinal forces in suspensions

В рамках расчётного исследования второго конструктивного решения, предусматривающего установку жёстких вертикальных связей между подвешенными перекрытиями, также было проведено сравнение напряжённо-деформированного состояния исходной и изменённой расчётной модели. Результаты этого сравнения представлены на диаграммах (рис. 13) и в таблице 2.

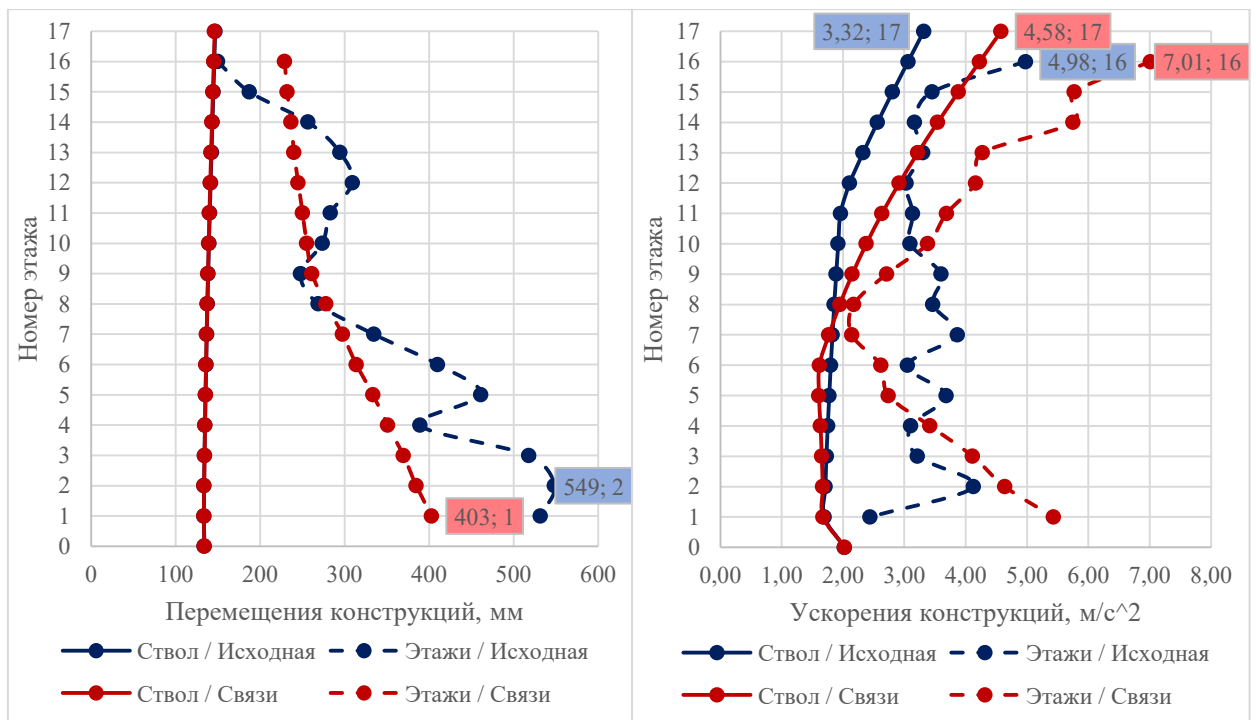


Рисунок 13 – Диаграммы а) перемещений; б) ускорений конструкций при сейсмическом воздействии в горах св. Ильи

Figure 13 – Diagrams of a) displacements; b) accelerations of structures under seismic action in the mountains of St. Elias

Таблица 2 – Сравнение параметров напряжённо-деформированного состояния исходной расчётной модели и модели с внедрёнными вертикальными связями

Table 2 – Comparison of the parameters of the stress-strain state of the initial computational model and the model with embedded vertical links

Параметры НДС	Исходная модель	Модель с вертикальными связями
Максимальное перемещение конструкций ствола, мм	147	146
Максимальное перемещение подвешенных перекрытий, мм	549	403
Максимальное ускорение конструкций ствола, мм	3,32	4,58
Максимальное ускорение подвешенных перекрытий, мм	4,98	7,01
Максимальные нормальные напряжения стен ствола моделей вдоль вертикальной оси, т/м ²	-1111	-1090,4
Максимальные моменты, действующие на сечение ортогональной оси, в стенах ствола моделей, т/м ²	28,63	28,45
Максимальные продольные усилия в подвесках, т	78,9	111,1

Заключение

1. Установка включающихся связей не влияет на перемещение конструкций ядра здания, но позволяет добиться уменьшения опасных перемещений подвешенных этажей. Более высокая жёсткость включающихся связей обеспечивает лучшие результаты в устранении эффекта раскачки перекрытий.
2. Введение включающихся связей приводит к увеличению жёсткости подвесной структуры и усилий, возникающих в несущих элементах системы.
3. Жёсткость вводимых трубных связей следует определять по расчёту, стремясь при этом уменьшить деформации конструкций без существенного увеличения усилий, возникающих в элементах системы.
4. Наименьшие значения взаимных смещений подвешенных перекрытий установлены при рассмотрении жёстких вертикальных связей. При этом введение таких связей может привести к увеличению продольных усилий в подвесках.

Список литературы

1. Патент № 477227 SU МПК E04H 9/02. Подвесное здание: № 1691920: заявл. 29.07.1971: опубл. 15.07.1975 / Корчинский И.Л., Грилль А.А., Чернявский И.З., Попов И.В., Каплан В.Е., Фридбург В.И. 2 с.
2. Патент № 1 173 027 SU МПК E04H 9/02. Многоэтажное сейсмостойкое здание: № 3676356: заявл. 22.12.1983: опубл. 15.08.1985 / Дуброва Е.П., Щербина В.И., Тимофеенко Л.П., Гордеев И.П. 5 с.
3. Патент № 1 176 052 SU МПК E04H 9/02. Многоэтажное сейсмостойкое здание: № 3718469: заявл. 29.03.1984: опубл. 30.08.1985 / Щербина В.И., Тимофеенко Л.П. 4 с.
4. Патент № 2 074 303 RU МПК E04H 9/02. Подвесное здание повышенной этажности: № 94039800/3: заявл. 24.10.1994: опубл. 27.02.1997 / Таланов Б.П. 5 с.
5. Патент № 2 186 183 RU МПК E04H 9/02. Сейсмостойкое здание подвешенного типа: № 2000112693/03: заявл. 22.05.2000: опубл. 27.07.2002 / Остроменский П.И., Никифоров И.С., Болотов А.С. 10 с.

6. Wang C., Lu Z., Tu Y. Dynamic Responses of Core-Tubes with Semi-Flexible Suspension Systems Linked by Viscoelastic Dampers under Earthquake Excitation. *Advances in Structural Engineering*. 2011, no. 14 (5), pp. 801–813. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.14.5.801>
7. Cai W., Yu B., Kaewunruen S. Shaking Table Tests of Suspended Structures Equipped with Viscous Dampers. *Applied Sciences*. 2019, no. 9 (13), pp. 2612–2627. <https://doi.org/10.3390/app9132616>
8. Cao W., Lu Z., Zhang J., et al. Shaking table test and analysis of core-tube partial suspension structures. *China Civil Engineering Journal*. 2007, no. 40 (3), pp. 40–45.
9. Liu Y., Lu Z. Seismic Performance and Storey-Based Stability of Suspended Buildings. *Advances in Structural Engineering*. 2014, no. 17 (10), pp. 1531–1550. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.10.1531>
10. Liu Y., Lu Z. Seismic behavior of suspended building structures with semi-rigid connections. *Earthquakes and Structures*. 2014, no.7, pp. 415–448. <https://doi.org/10.12989/EAS.2014.7.4.415>
11. Belash T., Rybakov P. Buildings with suspended structures in seismic areas. *Magazine of Civil Engineering*. 2016, no. 5, pp. 17–26. <https://doi.org/10.5862/MCE.65.2>
12. He Q., Yin A., Fan Z., He L. Seismic responses analysis of multi-story suspended floors system. *Vibroengineering*. 2021, no. 23, pp. 167–182. <https://doi.org/10.21595/jve.2020.21478>
13. Белаш Т.А., Свитлик И.В. Перспективное использование конструктивных систем зданий подвешенного типа в сейсмических районах // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2021. №5. С. 64–72. [In Russian]
14. Belash T., Svitlik I. Damping of structures of earthquake resistant suspended buildings. *Proceedings of the 6 th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety ICCATS 2022*. Sochi: Springer, Cham, 2023, pp. 289–297.

References

1. Patent № 477227 SU MPK E04H 9/02. Podvesnoe zdanie: № 1691920: zayavl. 29.07.1971: opubl. 15.07.1975 / Korchinskij I.L., Grill' A.A., Chernyavskij I.Z., Popov I.V., Kaplan V.E., Fridburg V.I. 2 s.
2. Patent № 1 173 027 SU MPK E04H 9/02. Mnogoetazhnoe sejsmostojkoe zdanie: № 3676356: zayavl. 22.12.1983: opubl. 15.08.1985 / Dubrova E.P., Shcherbina V.I., Timofeenko L.P., Gordeev I.P. 5 s.
3. Patent № 1 176 052 SU MPK E04H 9/02. Mnogoetazhnoe sejsmostojkoe zdanie: № 3718469: zayavl. 29.03.1984: opubl. 30.08.1985 / Shcherbina V.I., Timofeenko L.P. 4 s.
4. Patent № 2 074 303 RU MPK E04H 9/02. Podvesnoe zdanie povyshennoj ehtazhnosti: № 94039800/3: zayavl. 24.10.1994: opubl. 27.02.1997 / Talanov B.P. 5 s.
5. Patent № 2 186 183 RU MPK E04H 9/02. Sejsmostojkoe zdanie podvesnogo tipa: № 2000112693/03: zayavl. 22.05.2000: opubl. 27.07.2002 / Ostromenskij P.I., Nikiforov I.S., Bolotov A.S. 10 s.
6. Wang C., Lu Z., Tu Y. Dynamic Responses of Core-Tubes with Semi-Flexible Suspension Systems Linked by Viscoelastic Dampers under Earthquake Excitation. *Advances in Structural Engineering*. 2011, no. 14 (5), pp. 801–813. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.14.5.801>
7. Cai W., Yu B., Kaewunruen S. Shaking Table Tests of Suspended Structures Equipped with Viscous Dampers. *Applied Sciences*. 2019, no. 9 (13), pp. 2612–2627. <https://doi.org/10.3390/app9132616>
8. Cao W., Lu Z., Zhang J., et al. Shaking table test and analysis of core-tube partial suspension structures. *China Civil Engineering Journal*. 2007, no. 40 (3), pp. 40–45.

9. Liu Y., Lu Z. Seismic Performance and Storey-Based Stability of Suspended Buildings. *Advances in Structural Engineering*. 2014, no. 17 (10), pp. 1531–1550. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.10.1531>
10. Liu Y., Lu Z. Seismic behavior of suspended building structures with semi-rigid connections. *Earthquakes and Structures*. 2014, no.7, pp. 415–448. <https://doi.org/10.12989/EAS.2014.7.4.415>
11. Belash T., Rybakov P. Buildings with suspended structures in seismic areas. *Magazine of Civil Engineering*. 2016, no. 5, pp. 17–26. <https://doi.org/10.5862/MCE.65.2>
12. He Q., Yin A., Fan Z., He L. Seismic responses analysis of multi-story suspended floors system. *Vibroengineering*. 2021, no. 23, pp. 167–182. <https://doi.org/10.21595/jve.2020.21478>
13. Belash T.A., Svitlik I.V. Perspektivnoe ispol'zovanie konstruktivnykh sistem zdaniy podvesnogo tipa v sejsmicheskikh rajonakh. *Sejsmostojkoe stroitel'stvo Bezopasnost' sooruzhenij*. 2021, no. 5, pp. 64–72. [In Russian]
14. Belash T., Svitlik I. Damping of structures of earthquake resistant suspended buildings. *Proceedings of the 6 th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety ICCATS 2022*. Sochi: Springer, Cham, 2023, pp. 289–297.

Информация об авторах /Information about authors

Белаш Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «Научно-исследовательский центр «Строительство». Москва, Российская Федерация

Tatiana A. Belash, Dr. Sci. (Engineering), Professor, JSC Research Center of Construction. Moscow, Russian Federation

Свитлик Илья Владимирович, аспирант кафедры «Металлические и деревянные конструкции», ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, Российская Федерация svitlik.i@yandex.ru

Ilya V. Svitlik, postgraduate student, Department of Metal and Timber Constructions, St Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Saint Petersburg, Russian Federation