

УДК 69.07

DOI: [10.37153/2611-9133-2025-1-11-2](https://doi.org/10.37153/2611-9133-2025-1-11-2)

Проектирование строительства и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений

Об использовании эффекта динамического гашения колебаний в некоторых конструктивных системах высотных зданий

Белаш Татьяна Александровна¹, Сиддик Ильяс Владимирович²

¹АО «Научно-исследовательский центр «Строительство». Москва, Российская Федерация

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

Аннотация

Известие. Необходимость возведения высотных зданий в условиях плотной городской застройки в 1960-х годах привела к внедрению новой конструктивной системы высотных зданий – ствольной. Одной из ее разновидностей является ствольно-подвесная конструктивная система, которая была воплощена во многих зданиях по всему миру. Кроме архитектурных достоинств, здания ствольно-подвесного типа системой обладают рядом конструктивных особенностей, связанных со значительной податливостью несущих элементов. Данная особенность высотных зданий позволяет снизить сейсмическую нагрузку на их конструкции. Трудности, связанные с технической реализацией подвески перекрытий, а также методы расчета, не позволявшие отразить поведение подвесных конструкций при динамических воздействиях, препятствовали применению ствольно-подвесной системы при возведении высотных зданий в сейсмически активных районах. Другим подходом к обеспечению сейсмической защиты высотных зданий является устройство динамических гасителей колебаний. Это требует внедрения в конструкцию сооружения дополнительных массивных элементов, занимающих его внутреннее пространство. Подвесные конструкции в сочетании с несущим стволом потенциально могут выполнять роль элементов динамических гасителей колебаний. Современные методы расчета математических моделей и вычислительные комплексы позволяют проверить это предположение, так как они способны выполнять сложные задачи в области динамических линейных и нелинейных колебаний, в частности колебаний подвесных конструкций зданий. В данной статье представлено новое конструктивное решение ствольно-подвесного здания, а также дана оценка влияния инженерных параметров подвешенной части здания на его сейсмостойкость.

Материалы и методы. Для оценки эффективности предлагаемого конструктивного решения здания в условиях сейсмического воздействия проведено численное моделирование здания в программном комплексе ANSYS во временной области в шаговой нелинейной постановке.

Результаты. Выявлено, что перемещения и ускорения ствольно-подвесного здания при землетрясении зависят от величины продольной жесткости упругих связей и массы верхнего подвешенного блока этажей. Определены рациональные параметры подвешенных конструкций, позволяющие снизить колебания всего здания.

Выводы. Изменение массы подвешенных этажей и жесткости связей между элементами ствольно-подвесного здания может привести к снижению перемещений и ускорений несущих конструкций, гашению колебаний системы. Дальнейшие исследования могут быть посвящены аналитическому определению оптимальных параметров подвешенных

конструкций, обеспечивающих восприятие и рассеивание колебательной энергии сейсмического воздействия.

Ключевые слова: высотные здания, подвесные конструкции, динамические гасители колебаний, сейсмостойкие конструктивные решения.

Для цитирования: Белаш Т.А., Свитлик И.В. Об использовании эффекта динамического гашения колебаний в некоторых конструктивных системах высотных зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2025. № 1. С. 11–27.

DOI: [10.37153/2618-9283-2025-11-27](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2025-11-27)

Вклад авторов

Белаш Т.А. – идея и концепция исследования, научное руководство, итоговые выводы.

Свитлик И.В. – сбор и обработка материала, написание исходного текста, итоговые выводы.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Design, building and reconstruction of aseismic constructions

On the use of the effect of dynamic vibration damping in some structural systems of high-rise buildings

Tatiana A. Belash¹, Ilya V. Svitlik²

¹JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

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

Abstract

Introduction. The necessity of constructing high-rise buildings in dense urban development in the 1960s led to the introduction of a new structural system of high-rise buildings with rigid core. One of its varieties is the suspended structural system, which has been implemented in many buildings around the world. In addition to the architectural advantages of the suspended buildings, the system has design features associated with significant flexibility of the load-bearing elements. This feature of high-rise buildings makes allows reducing the seismic load on structures. The technical implementation of the suspended floors has some difficulties. The calculation methods did not allow us to show the behavior of suspended structures under dynamic influences. This was an obstacle to the use of a suspended system in the construction of high-rise buildings in seismic active areas in the past. Another approach to providing seismic protection for high-rise buildings is the installation of dynamic vibration dampers. This requires the installation of additional massive elements into the structure of the building, occupying its internal space. Suspended structures in buildings with a load-bearing core can potentially act as elements of dynamic vibration dampers. Modern methods of calculating mathematical models and computing complexes allow us to verify this assumption. These methods are capable of performing complex tasks in the field of dynamic linear and nonlinear vibrations, in particular vibrations of suspended structures of buildings. This article presents a new design solution for a

suspended building with rigid core. An assessment of the influence of the engineering parameters of the suspended part of the building on its seismic resistance is given.

Materials and methods. For evaluation of the effectiveness of the proposed building structural solution in the conditions of seismic impact, numerical modeling of the building in the LIRA software package in a steady nonlinear setting was performed.

Results. Movements and accelerations of a suspended building during an earthquake depend on the magnitude of the longitudinal stiffness of the elastic links and the mass of the upper suspended floor block. The rational parameters of suspended structures have been determined to reduce the oscillations of the building.

Conclusions. A change in the mass of suspended floors and the rigidity of the connections between the elements of suspended building can lead to a decrease in displacements and accelerations of structures and damping system vibrations. Further research can be devoted to the analytical determination of the optimal parameters of suspended structures that ensure the minimum of seismic action energy.

Key words: high-rise buildings, suspended structures, dynamic vibration dampers, earthquake-resistant construction solutions.

For citation: Belash T.A., Svitlik I.V. On the use of the effect of dynamic vibration damping in some structural systems of high-rise buildings. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Construction safety*. 2025, no. 1, pp. 11–27. (in Russian)

DOI: [10.3715/1261-89283-2025-1-11](https://doi.org/10.3715/1261-89283-2025-1-11)

Authors contribution statement

Belash T.A. – the idea and concept of research, scientific guidance, final conclusions.

Svitlik I.V. – collection and processing of the material, writing of the source text, final conclusions.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Введение

Эффект динамического гашения колебаний достаточно хорошо известен в динамике сооружений. Впервые он был обнаружен немецким механиком Г. Фрамом. Проблемой динамического гашения колебаний в строительном строительстве занимались многие известные ученые, такие как Савинов О.А., Кривенко В.Л., Резников Л.М. [1, 2] и многие другие. Идея динамического гашителя заключается в том, что к колеблющемуся объекту с помощью упругой связи присоединяют дополнительную массу (рис. 1, а) [3].



Рисунок 1 - Динамический гаситель колебаний: а) принципиальная схема; б) амплитудно-частотная характеристика

Figure 1 - Dynamic vibration damper: a) schematic diagram; b) amplitude-frequency response

Можно добиться полной остановки колеблющегося объекта. Для этого необходимо, чтобы парциальная частота колебаний гасителя равнялась частоте возмущающей силы:

$$k_c = \sqrt{c_T} \tag{1}$$

где c_T – жесткость гасителя;
 m_T – масса гасителя

Этот эффект проиллюстрирован на рисунке 1, б. На оси ω отмечены частоты собственных колебаний системы k_1 и k_2 , а также парциальная частота колебаний гасителя k_c .

Практическая реализация динамического гасителя в сейсмостойком строительстве описана в работах Цейтлина А.И., Хачиян Э.Э., Уздина А.М. и многих других ученых [4]. В 1976 г. Цейтлин А.И. было впервые предложено конструктивное решение, в котором в роли гасящей массы выступает гибкий верхний этаж, связанный с верхними конструкциями здания посредством гибкой связи [5]. Роль гибкой связи выполняют гибкие стойки, к стойкам подвешиваются легкие навесные стены. Здание с гибким верхним этажом впервые построено в г. Кир-Акане (Армения). Исследования этих конструкций проводились под руководством академика Хачиян Э.Э., а также многими армянскими специалистами [6]. Для гашения колебания опор мостов в качестве гасящей массы может служить пролетное строение. Эта идея была впервые реализована Уздиным А.М. [7] и получила развитие в работах его учеников [8–14].

Как показывает анализ существующих исследований, при настройке гасителя стремятся соблюдать определенные принципы проектирования. К ним относятся: настройка парциальной частоты колебаний гасителя на частоту основного тона колебаний сооружения, так как частота сейсмического воздействия заранее неизвестна и имеет изменчивый характер; гаситель должен защищать объект от наиболее опасных резонансных воздействий с частотой, равной частоте основного тона колебаний сооружения. Масса гасителя должна по возможности быть большой. С этой целью в качестве гасящей массы целесообразно использовать части самой защищаемой конструкции. Эта идея может быть реализована в здании ствольно-навесной системы. Саму конструкцию верхних подвешенных этажей можно условно принимать как элемент конструкции гасителя колебаний, а гасящие рассредоточивать в качестве гибкой связи непосредственно с самим зданием. При этом обеспечить условия эффективной настройки такого гасителя с учетом вышеуказанных рекомендаций классическому парадигму

динамического гасителя достаточно сложно, учитывая непредсказуемый и сложный характер землетрясений. Однако роль верхних подвесных этажей в общей системе повышения сейсмостойкости здания рассматриваемого типа может быть весьма существенной. Это предположение проверяется в данной статье.

Метод

На рисунке 2 изображено устройство здания ствольно-подвесного типа, которое позволяет снизить риск повреждений при землетрясениях за счет применения принципа динамического гашения колебаний. Особенность этой конструкции в том, что подвешенные этажи объединены в жесткие блоки, независимые подвешенные к консольному оголовку.

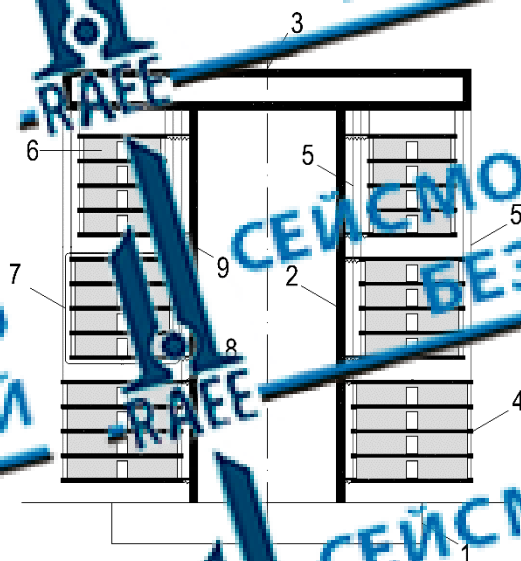


Рисунок 2 – Здание с подвешенными блоками этажей: 1 – фундамент; 2 – несущий ствол; 3 – консольный ростверк; 4 – плиты перекрытия; 5 – подвески; 6 – диафрагмы жесткости; 7 – геометрически неизменяемые блоки этажей; 8 – выключающиеся связи; 9 – упругие связи

Figure 2 – A building with suspended blocks of floors: 1 – foundation; 2 – supporting trunk; 3 – cantilever grillage; 4 – floor slabs; 5 – suspensions; 6 – stiffening diaphragms; 7 – geometrically unchangeable floor blocks; 8 – switching connections; 9 – elastic connections

При землетрясении схема здания меняет вид за разрушения связей между блоками этажей и ядром жесткости. Каждый этажный блок может действовать как элемент инерционного демпфера, потому что он обладает другой частотой собственных колебаний по сравнению с несущим стволом. Это конструктивное решение позволяет подобрать оптимальную массу этажных блоков. Для этого можно изменять количество плит перекрытий в блоках или их толщину. Жесткость связей ядра жесткости с подвешенными перекрытиями зависит от жесткости упругих элементов, которые установлены в зазоре между ними.

В качестве объекта моделирования было взято 17-этажное здание с тремя блоками этажей (рис. 3). Диаметр ядра равен 19 метрам, наружный диаметр здания составляет 38 метров. Высота этажа составляет 3,3 метра. Материал несущих конструкций ствола и ростверка здания – бетон марки В45. Конструкции чердачок и подвешенных плит перекрытий выполнены из бетона класса В30. В качестве несущих подвесок применены стальные канаты.

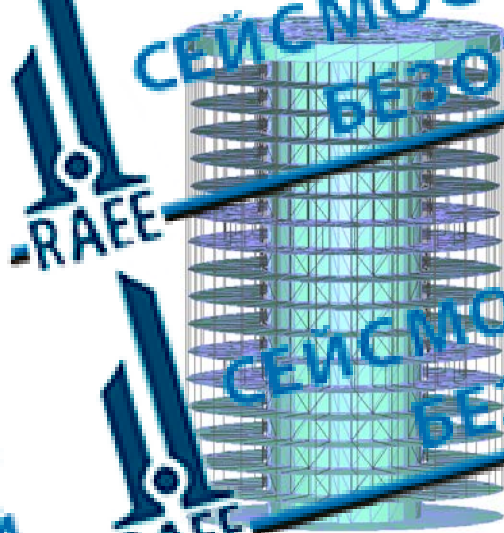


Рисунок 3 – Расчетная модель здания

Figure 3 – Calculation model of the building

Элементы из железобетона и стали в форме стержней представлены в модели универсальными конечными элементами пространственного стержня, а элементы в виде пластин – элементами тонкой оболочки. Для всех подвесок был выбран тип геометрически нелинейного конечного элемента «нить».

Перекрытия объединены в блоки с помощью пространственной ригидной системы из элементов грубого проката (рис. 4). Места установки упругих связей между ярами жесткости и блоками этажей в плане показаны на рисунке 5.

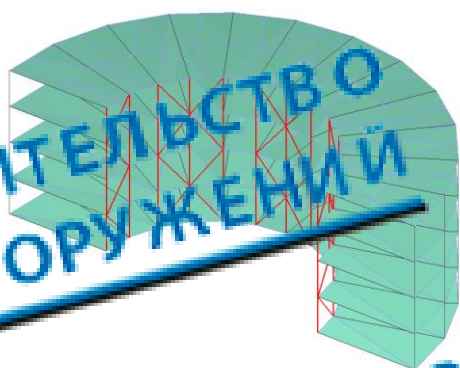


Рисунок 4 – Фрагмент расчетной модели с элементами пространственной жесткости

Figure 4 – A fragment of the calculation model with element of spatial rigidity



Рисунок 5 – Поперечное сечение расчетной модели с местами установки упругих элементов

Figure 5 – Cross-section of the computational model with the elastic elements installation locations

Для анализа влияния характеристики подвешенных элементов на способность здания сопротивляться землетрясениям, была выбрана конструкция верхнего этажного блока. Именно на верхних этажах перемещения верхнего ствола достигают максимальных значений. Масса этажных блоков меньше в зависимости от толщины плит перекрытий, которые входят в их состав (табл. 1).

Таблица 1
Изменение массы верхнего подвешенного блока этажей

Table 1
Changing the mass of the upper suspended block of floor

Толщина перекрытия блока этажей, мм	Масса надземной части здания, т	Масса блока этажей, т	Относительная масса блока этажей, %
100	2086	2408	8,0
200	2086	2607	12,8
400	3025	6006	19,6
600	3024	8406	25,4
800	3414	10805	30,5
1000	3685	13204	41,0

Высота центра тяжести здания возрастает пропорционально увеличению относительной массы этажного блока (рис. 6)

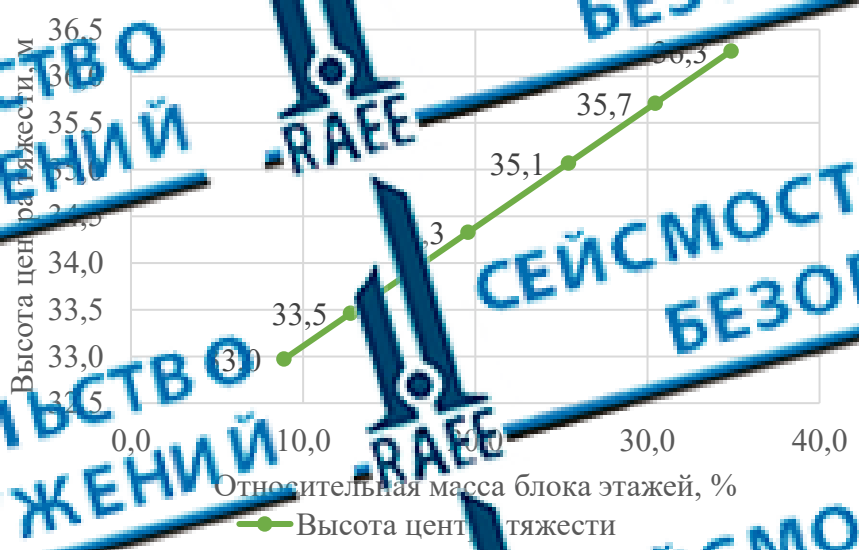


Рисунок 6 – Зависимость высоты центра тяжести здания от относительной массы в рцсло подвешенного блока этажей

Figure 6 – Dependence of the height of the building center of gravity on the relative mass of the upper suspended block of floor

Жесткость упругих связей принимала значения в диапазоне от 0 до 100 т/м. К элементам расчетных моделей прикладывалась постоянная нагрузка, кратковременная от людей и оборудования, а также особая от землетрясения. Сейсмическое воздействие задавалось с помощью инструментальной регистрации типичной сейсмограммы землетрясения в городе Цзици в 1999 году (рис. 7). В нем преобладают колебания с периодом более одной секунды, поэтому данное землетрясение условно можно считать низкочастотным. Для зданий вильно-подвесного типа колебания грунтового основания в таком частотном диапазоне представляют наибольшую опасность.

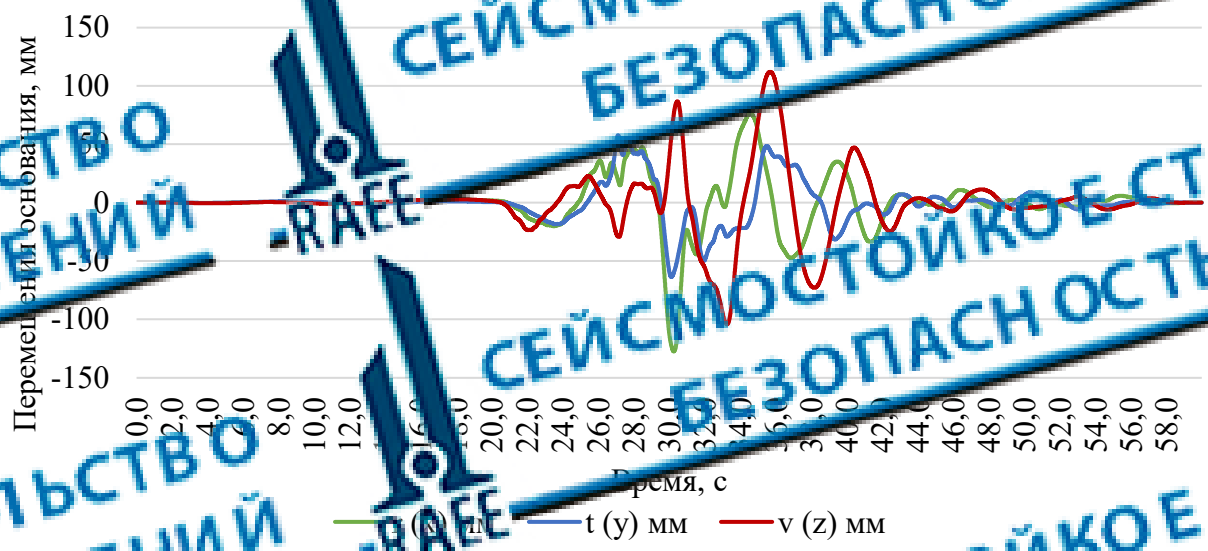


Рисунок 7 – Сейсмограмма землетрясения в г. Цзинци, Тайвань

Figure 7 – Earthquake in Jiji, Taiwan seismogram

Численное моделирование зданий в условиях сейсмического воздействия выполнено в программном комплексе ЛИРА версии 10.12 во временной области в пошаговой нелинейной постановке.

Эффективность применения рассматриваемого конструктивного решения здания ствольного-подвесного типа оценивается на основе данных о перемещениях и ускорениях несущих конструкций при сейсмическом воздействии.

Результаты

Данные о перемещениях и ускорениях конструкций, полученные в ходе численного моделирования рассматриваемых зданий, сравнивались с результатами расчетов здания с жесткой связью подвешенных блоков этажей с несущим стволом (рис. 8).

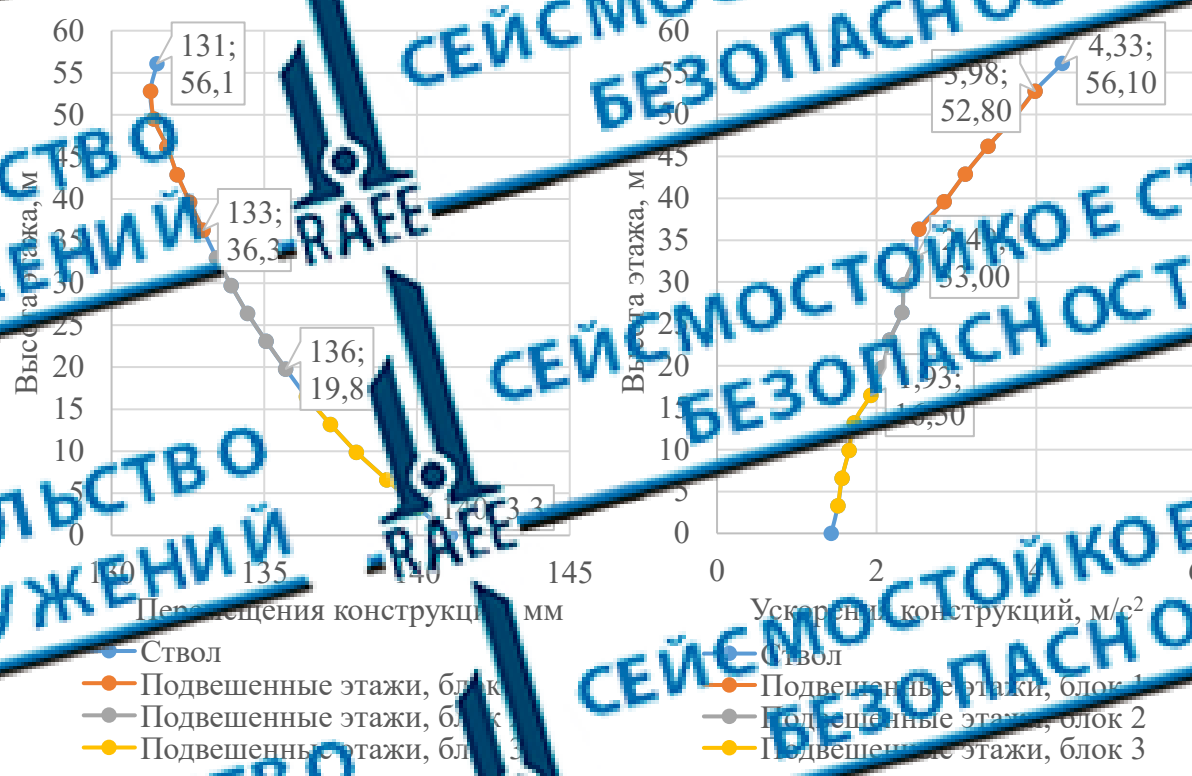


Рисунок 8 – Максимальные перемещения и ускорения конструкций в расчетной модели с жесткой связью подвешенных блоков с несущим стволом при толщине перекрытия 200 мм

Figure 8 – Maximum displacements and accelerations of the structures at the calculation model with a rigid connection of suspended blocks with a supporting shaft with a floor thickness of 200 mm

В качестве примера на рисунке 9 представлена диаграмма максимальных перемещений элементов расчетной модели, в которой используются перекрытия толщиной 200 мм и отсутствуют упругие связи.



Рисунок 9. Максимальные перемещения и ускорения конструкций в расчетной модели без устройства упругих связей при толщине перекрытий 200 мм

Figure 9. Maximum displacements and accelerations of the structures at calculation model without elastic connections with a floor thickness of 200 mm

Выявлено, что изменение продолжительности упругих связей практически не влияет на перемещения несущего ствола здания (табл. 2). При этом перемещения ядра здания могут быть снижены путем изменения массы верхнего этажного блока: увеличение его относительной массы с 12,8 % до 19,6 % привело к снижению перемещения несущего ствола на 5,1 % (рис. 10).

Таблица 2
Максимальные горизонтальные перемещения конструкций несущего ствола в уровне верхнего этажа, мм

Table 2
Maximum horizontal displacements of the supporting shaft structures at the upper floor level, mm

		Относительная масса блока этажей, %					
		8,9	12,8	19,6	25,4	30,5	34,9
Жёсткость связей, тс/м	0	131	31	127	136	135	129
	25	129	131	127	135	135	129
	50	129	131	127	135	135	129
	75	129	131	127	135	135	129
	100	129	131	127	135	135	129
	100	129	131	128	135	135	150

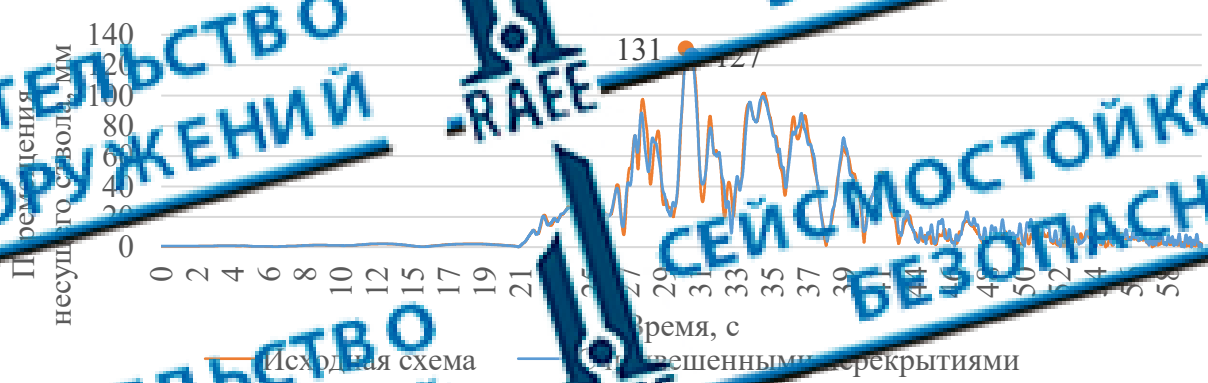


Рисунок 10 – Перемещения стволочных моделей при $M=12,8\%$ с жесткими связями и при $M=19,6\%$ с упругими связями $R=25$ тс/м

Figure 10 – Movements of the calculation models shafts at $M=12.8\%$ with rigid bonds and at $M=19.6\%$ with elastic bonds $R=25$ t/m

На значения перемещений подвешенных перекрытий влияют как их масса, так и жесткость их связей с несущим стволом (табл. 2). Перемещение подвешенного блока этажей, в состав которого входят перекрытия толщиной 400 мм, на 21,8 % ниже перемещений перекрытий, жестко связанных с несущим стволом (рис. 11).

Таблица 3
Максимальные горизонтальные перемещения конструкций подвешенного блока этажей, мм

Table 3
Maximum horizontal movement of suspended block structures floors, mm

		Относительная масса блока этажей, %					
		8,9	12,8	19,6	25,4	30,5	34,9
Жесткость связей, тс/м	0	146	146	104	143	134	181
	25	447	335	172	161	137	182
	50	284	409	402	302	329	205
	75	402	284	454	418	338	328
	100	405	315	496	456	413	367



Рисунок 11 – Перемещения перекрытий расчетных моделей при $M=12,8\%$ с жесткими связями и при $M=19,6\%$ с $R=0$ тс/м

Figure 11 – Displacements of the overlaps of the calculated models at $M=12,8\%$ with rigid connections and at $M=19,6\%$ with $R=0$ tf/m

Здания с большей относительной массой подвешенного блока этажей соответствуют меньшим значениям ускорений и деформаций ядра жесткости (табл. 4). Это может свидетельствовать о том, что при сейсмическом воздействии несущие элементы в них испытывают меньшую нагрузку. Во всех рассматриваемых случаях отсутствие жесткой связи подвешенных конструкций с несущим стержнем приводит к уменьшению ускорения его конструкций вплоть до 0,1% (рис. 12).

Таблица 4
Максимальные горизонтальные ускорения контур несущего ствола в уровне верхнего этажа, м/с²

Table 4
Maximum horizontal accelerations of the bearing shaft structures at the upper floor level, m/s²

		Относительная масса блока этажей, %					
		8,9	12,8	19,6	25,4	30,5	34,9
Жесткость связей, тс/м	0	3,78	3,78	3,68	3,58	3,56	3,57
	25	3,75	3,71	3,67	3,64	3,66	3,56
	50	3,72	3,79	3,66	3,58	3,52	3,55
	75	3,72	3,7	3,66	3,56	3,47	3,53
	100	3,72	3,7	3,65	3,64	3,46	3,52

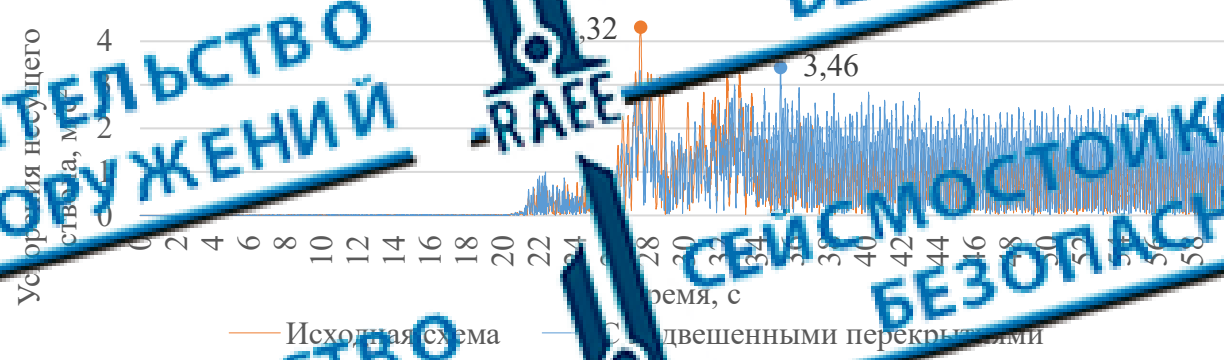


Рисунок 12 – Ускорения стволов расчетных моделей при $M=12,8\%$ с жесткими связями и при $M=30,5\%$ с упругими связями $R=100$ тс/м

Figure 12 – Acceleration of the trunks of the calculated models at $M=12,8\%$ with rigid bonds and at $M=30,5\%$ with elastic bonds $R=100$ t/m

Увеличение относительной массы подвешенных конструкций также привело к уменьшению их ускорений при сейсмическом воздействии (табл. 5). Повышение жесткости упругих связей также привело к уменьшению максимальных ускорений подвешенных элементов. Максимальные ускорения конструкций блока этажей с относительной массой 34,9 % при жесткости упругих связей 100 тс/м на 55,8 % ниже ускорений перекрытий жестко связанных с несущим стволом (рис. 13).

Таблица 5
Максимальные горизонтальные ускорения конструкций подвешенного блока этажей, м/с²

Table 5
Maximum horizontal accelerations of suspended floor block structures, m/s²

		Относительная масса блока этажей, %					
		8,9	12,8	19,6	25,4	30,5	34,9
Жесткость связей, тс/м	0	7,69	7,0	4,23	4,38	3,43	3,6
	25	10,35	8,17	4,14	4,37	3,43	3,54
	50	11,31	8,2	4,05	4,25	3,44	3,48
	75	11,58	8,57	4,03	4,2	3,47	3,4
	100	10,89	8,6	4,02	4,33	3,5	3,4

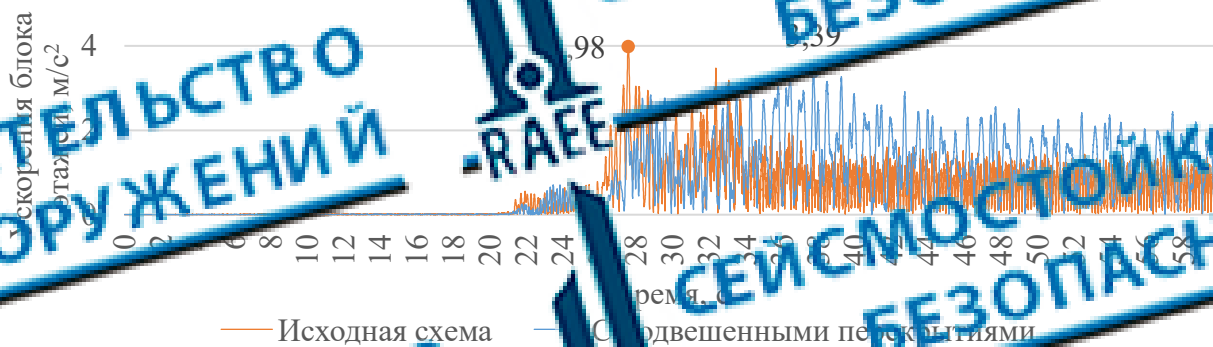


Рисунок 13 – Ускорения стволов расчетных моделей при $M=12,8\%$ с жесткими связями и при $M=34,9\%$ с упругими связями $R=100$ тс/м

Figure 13 – Calculation models trunk accelerations of the at $M=12.8\%$ with rigid bonds and at $M=34.9\%$ with elastic bonds $R=100$ ttf/m

Стоит отметить, что при упругой связи перекрытий со стволом в данной колебания несущих элементов затухают медленнее, чем при жесткой связи конструкций (рис. 11–13). В условиях продолжительного сейсмического воздействия применение подвешенных конструкций может привести к негативным последствиям, выраженным в нарушении целостности несущих элементов. В этой связи целесообразно применять в зданиях ствольно-подвешного типа демпфирующие устройства.

3. Заключение

1. Изменение массы подвешенных элементов и жесткости связей между конструкциями ствольно-подвешного здания может способствовать снижению колебаний системы, но может привести и к негативным эффектам, для устранения которых в данной целесообразно применять демпфирующие устройства.
2. Проектируя конструкции здания принимали наименьшие значения при относительной массе подвешенного блока этажей 19,6%.

3. Здания с более массивными подвешенными элементами имели меньшие значения ускорений несущих конструкций.
4. Будущие исследования могут быть посвящены аналитическому определению рациональных инженерных параметров подвешенных конструкций, обеспечивающих поглощение и рассеивание колебательной энергии землетрясения.

Список литературы

1. Савинов О.А. О применении динамического гасителя колебаний // Труды научно-исследовательского сектора Ленинградского отделения треста «Глубинных работ». 1940. № 2. С. 30–35.
2. Корнев Б.Г. Динамические гасители колебаний / Б.Г. Корнев, Л.М. Резников. Москва: Наука, 1988. 100 с.
3. Уздин А.М. Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений учебное пособие / А.М. Уздин, С.В. Елизаров, Т.А. Белаш. Москва: ФГБОУ «Учлого-металлический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. 501 с.
4. Уздин А.М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений / А.М. Уздин, А. Сандович, Ал-Насер-Мохомах, Самих Амин. Санкт-Петербург: ВУП, 1993. 175 с.
5. Цейтлин А.И. Сейсмические колебания многоэтажного здания с «гибким» верхним этажом. Снижение материалаемкости и трудоемкости сейсмостойкого строительства: тезисы докладов Всероссийского совещания / А.И. Цейтлин, Л.И. Ким. Москва: Стройиздат, 1982. 81 с.
6. Казьин О.Е. Сейсмическое воздействие и прогноз поведения сооружений / Э.Е. Хачиян, Брван: «Гитутюн» НАН Р, 2005. 555 с.
7. Белаш Т.А. Сейсмоизоляция. Современное состояние / Т.А. Белаш, В.А. Беляев, А.М. Уздин [и др.] // Избранные статьи профессора О.А. Савинова и ключевые доклады, представленные на четвертом Савиновские чтения. Санкт-Петербург: Ленинградский государственный университет, 2024. С. 95–128.
8. Уздин А.М. Особенности расчета гашения параметров динамических гасителей колебаний для сейсмозащиты зданий и сооружений / А.М. Уздин, О.П. Нестерова, М.Ю. Федорова [и др.] XIV Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. Материалы научно-практической конференции. Москва: Российская ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий, 2021. С. 135–136.
9. Нестерова О.П. Особенности применения динамических гасителей колебаний для сейсмозащиты зданий и сооружений // О.П. Нестерова, А.М. Уздин, М.Ю. Федорова // Поляховские чтения. Материалы международной научной конференции по механике. Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 2021. С. 119–121.
10. Нестерова О.П. Учет демпфирования при подборе параметров динамических гасителей колебаний / О.П. Нестерова, А.М. Уздин, М.Ю. Федорова // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2022. № 5. С. 35–42.
11. Нестерова О.П. Особенности подбора динамических гасителей колебаний (ДГК) сейсмических колебаний при сильных землетрясениях / О.П. Нестерова, А.М. Уздин. Архитектура, строительство-транспорт. Материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета, в 2-х частях. Том 1. Часть I. Архитектура и строительство. Санкт-

- Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2018. С. 43–48.
12. Нестерова О.П. Об одном способе повышения сейсмостойкости портовых причалов / О.П. Нестерова, А.М. Уздин, И.Ю. Ухова [и др.] // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2022. № 3. С. 26–28.
13. Сафронова В.Ф. Эффективность надстройки гибкого верхнего этажа для повышения сейсмостойкости зданий на нескальных основаниях / В.Ф. Сафронова, А.А. Пронина, А.М. Уздин // *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран ШП в XXI веке*. 2022. № 1. С. 483–487.
14. Желиостов Д.А. Некоторые особенности подбора параметров двухмассовых динамических гасителей сейсмических колебаний / Д.А. Желиостов, А.А. Медведев, А.М. Уздин, И.Ю. Ухова, О.П. Нестерова // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2023. № 1. С. 27–31.

References

1. Savinov O.A. On the use of a dynamic vibration damper. Proceedings of the Scientific Research Sector of the Leningrad Branch of the Trust for Deep Work, 1940, no 2, pp. 30–35. [In Russian]
2. Korenev B.G. Dynamic vibration dampers / B.G. Korenev, L.M. Pashkov. Moscow: Nauka, 1988, 303 p. [In Russian]
3. Uzdin A.M. Earthquake-resistant structures of transport buildings and structures: a textbook / A.M. Uzdin, S.V. Fuzzyrov, T.A. Belash. Moscow: FGBU DPO «Training and Methodological Center for Education in Railway Transport». 2012, 501 p. [In Russian]
4. Uzdin A.M. Fundamentals of the theory of earthquake resistance and earthquake-resistant construction of buildings and structures / A.M. Uzdin, T.A. Sandovich, Al-Nasr-Mohomad Samix Amin. Saint-Petersburg: VNIIT, 1993, 175 p. [In Russian]
5. Tsejtin A.I. Seismic vibrations of a multi-storey building with a "flexible" upper floor. Reducing the material consumption and labor intensity of earthquake-resistant construction: abstracts of the All-Union Meeting / A.I. Tsejtin, L.I. Kim. Moscow: Stroyizdat, 1972, 85 p. [In Russian]
6. Khachyan E.E. Seismic impact and prediction of structure behavior / E.E. Xachiyani. Yerevan: «Gityun» IAS RA, 2005, 555 p. [In Russian]
7. Belash T.A. Seismic isolation. Current status / T.A. Belash, V.S. Belach, A.M. Uzdin [and others]. Selected articles by Professor Oleg Savinov and key reports presented at the fourth Savinov Readings. Saint-Petersburg: Izdat. Promstroyproekt, 2014, pp. 95–128. [In Russian]
8. Uzdin A.M. Features of the calculation substantiation of the parameters of dynamic vibration dampers for seismic protection of buildings and structures / A.M. Uzdin, O.P. Nesterova, M.Yu. Fedorova [and others]. XIV Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning. Materials of the scientific and practical conference. Moscow: Russian Association for earthquake engineering and protection from natural and man-made hazards, 2021, pp. 135–136. [In Russian]
9. Nesterova O.P. Features of the use of dynamic vibration dampers for seismic protection of buildings and structures / O.P. Nesterova, A.M. Uzdin, M.Yu. Fedorova. IX Polyakhov readings. Proceedings of the International Scientific Conference on Mechanics. St Petersburg University. Saint-Petersburg: LC «Publishing House VVM», 2021, pp. 119–121. [In Russian]
10. Nesterova O.P. Consideration of damping in the selection of parameters of dynamic vibration dampers / O.P. Nesterova, A.M. Uzdin, M.V. Freze. *Natural and man-made risks. Safety of structures*. 2022, no 5, pp. 35–42. [In Russian]

11. Nesterova O.P. Features of the selection of dynamic vibration dampers for seismic oscillations during strong earthquakes / O.P. Nesterova, A.M. Uzdin. Architecture-construction-trading. Materials of the 7th scientific conference of the University's faculty and graduate students, in 2 parts. Volume. Part I. Architecture and construction. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 2018, pp. 43–48. [In Russian]
12. Nesterova O.P. About one way to increase the seismic resistance of port berths / O.P. Nesterova, A.M. Uzdin, N.Yu. Uxova [and others]. *Natural and man-made risks. Safety of structures*. 2022, no. 3, pp. 26–28. [In Russian]
13. Safronova V.Yu. The effectiveness of a flexible upper floor type structure to increase the earthquake resistance of buildings on non-rock foundations / V.Yu. Safronova, A.A. Pronina, A.M. Uzdin. *Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the 21st century*. 2022, no. 1, pp. 482–487. [In Russian]
14. Zheliostov D.A. Some features of the selection of parameters of two-mass dynamic seismic vibration damper / D.A. Zheliostov, A.A. Medvedeva, A.M. Uzdin, N.Yu. Ukhova, O.P. Nesterova. *Natural and man-made risks. Safety of structures*. 2023, no. 1, pp. 27–31. [In Russian]

Информация об авторах / Information about authors

Белаш Татьяна Александровна, д.т.н., профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», АО «Научно-исследовательский центр «Строительство». Москва, Российская Федерация
Tatiana A. Belash, D. Sci. (Engineering), Professor, JSC Research Center of Construction. Moscow, Russian Federation

Свитлик Илья Владимирович, аспирант кафедры «Металлические и деревянные конструкции» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Ilya V. Svitlik, postgraduate student, Department of Metal and Timber Constructions, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Saint Petersburg, Russian Federation