



УДК 699.841

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Е. Н. ГРИГОРЬЕВА, студент; А. К. СИТНИКОВА, студент

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АДАПТИВНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РАМНОГО ЗДАНИЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, grigoreva.lizetta@gmail.com, sitanngd@gmail.com

Ключевые слова: землетрясения, сейсмические нагрузки, динамические характеристики, активная сейсмозащита, адаптивные системы сейсмозащиты, включающиеся связи.

Производится расчет и сравнительный анализ работы несущих конструкций рамного каркасного здания в условиях сейсмической активности при использовании включающихся связей в виде провисающих растяжек. Определяется экономическая эффективность применения адаптивных систем в результате возможности снижения стоимости несущих конструкций здания.

Введение

Землетрясения являются наиболее опасным стихийным бедствием, которое невозможно точно предсказать при краткосрочном прогнозе. По данным сейсмологов, ежегодно на Земле происходит около миллиона землетрясений. Также отмечается, что во всем мире происходит активизация глобальной сейсмичности. Россия – страна, у которой более 30 % территории находится в сейсмических районах и подвергается землетрясениям высокой сейсмической интенсивности. Около 80 % сейсмически опасных районов приходятся на крупные и средние города. Такие сейсмические районы, как: Курильские острова, о. Сахалин, Камчатка, Прибайкалье и Забайкалье, Алтай, Северный Кавказ – постоянно подвергаются воздействию землетрясений различной интенсивности. Таким образом, решение задач обеспечения целостности конструкции или минимизации повреждений на основе конструктивных решений и специфических свойств зданий является необходимым при проектировании в сейсмически активных районах [1].

Сейсмическая нагрузка относится к недетерминированным нагрузкам. У таких нагрузок ряд параметров (направление, время, интенсивность воздействия, частота и др.) являются неопределенными. Интенсивность нагрузки, действующей при землетрясении, может быть не только чрезвычайно большой, но и весьма нерегулярной (рис. 1).

Улучшать сейсмостойкость строительных конструкций путем повышения прочности, веса, величины сечений не всегда выгодно и рационально, так как такой подход ведет к увеличению массы конструкций и таким образом к увеличению инерционных сейсмических нагрузок. Конструкция может быть более прочной, но не обязательно экономически эффективной. В связи с этим в современных условиях требуются новые эффективные методы сейсмозащиты. Эти методы предусматривают изменение массы или жесткости, или демпфирования системы в зависимости от ее перемещений и скоростей.

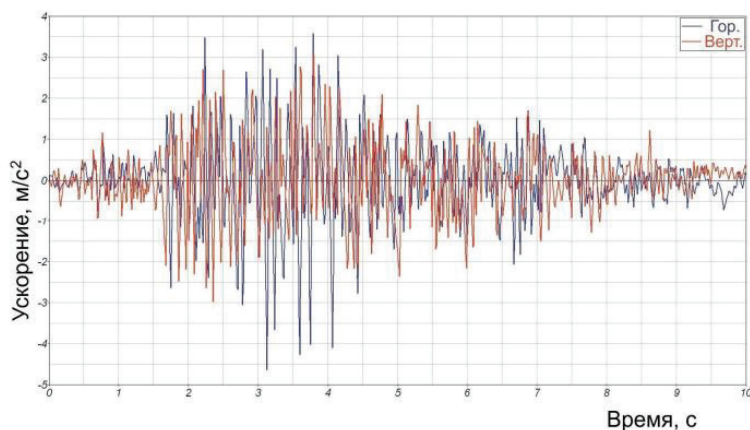


Рис. 1. Вид акселерограммы ускорений основания при сейсмической нагрузке

В настоящее время множество российских и зарубежных ученых занимаются вопросами сейсмостойкого строительства, уделяется большое внимание изучению поведения конструкций при сейсмических нагрузках [2–5]. На сегодняшний день разработано большое количество отечественных и зарубежных систем активной сейсмозащиты зданий [6–11]. Некоторые из этих систем получили практическое воплощение на отдельных объектах, это позволило оценить их технологичность для строительного производства.

Одним из видов активной сейсмозащиты являются адаптивные системы, которые представляют собой специальные устройства, меняющие динамические характеристики конструкций непосредственно во время землетрясения. Таким образом здание «адаптируется» к землетрясению, что позволяет избежать появления резонанса, возникающего при совпадении периода колебаний землетрясения с основным периодом собственных колебаний сооружения [6] (рис. 2).

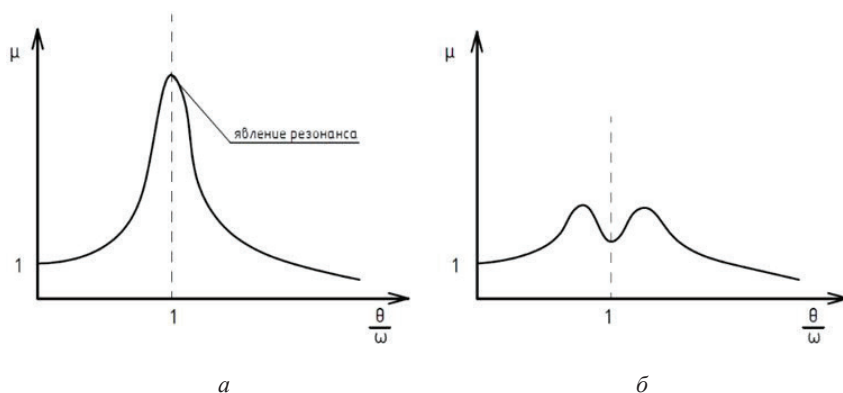


Рис. 2. График зависимости динамического коэффициента μ от соотношения частот колебаний грунта θ и собственных колебаний системы ω : *а* – для объектов без систем сейсмозащиты; *б* – для объектов с адаптивными системами сейсмозащиты

Материалы и методы

Объектом настоящего исследования является адаптивная система сейсмозащиты с включающимися связями в виде провисающих растяжек.

Ее суть заключается в том, что при землетрясении в случае возникновения значительных перемещений основных несущих конструкций здания происходит включение связей – растяжки натягиваются, что приводит к существенному изменению жесткости системы и к увеличению мгновенной частоты собственных колебаний здания (рис. 3а). Задачей исследования является определение эффективности подобного рода систем, а также экономической выгоды вследствие возможного уменьшения стоимости несущих конструкций.

Колебательную систему с бесконечно большим числом динамических степеней свободы можно заменить системой с дискретно расположенными массами (т. е. с массами, сосредоточенными в характерных сечениях). Все остальные участки сооружения рассматриваются как безмассовый скелет, сохраняющий упругие свойства сооружения. Согласно [12], для зданий и сооружений с простым конструктивно-планировочным решением такой подход допустим. Расчетная динамическая модель примет вид, показанный на рис. 3в.

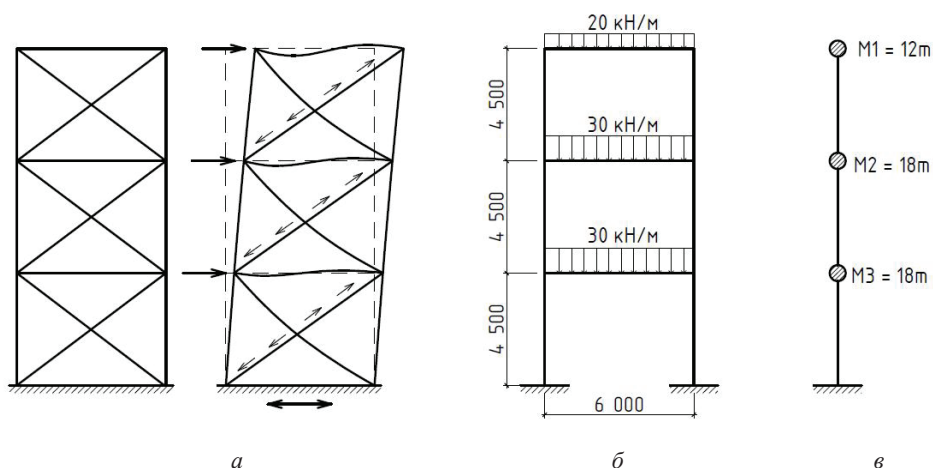


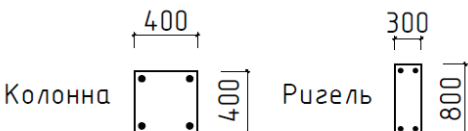
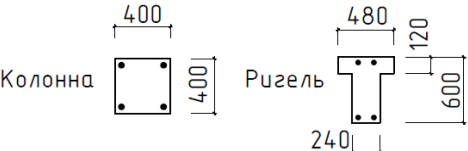
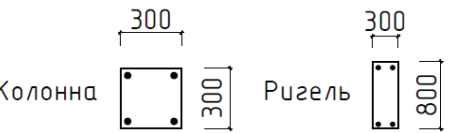
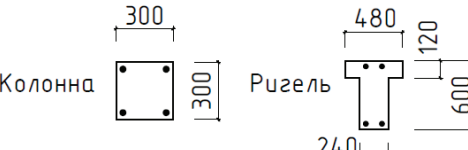
Рис. 3. Расчетная схема рамы: а – принцип работы включающихся связей; б – заданная расчетная схема; в – динамическая модель

Были рассмотрены четыре комбинации сечений несущих элементов (табл. 1).



Таблица 1

Комбинации сечений несущих элементов

Номер комбинации сечений элементов	Геометрические характеристики сечений элементов
1	
2	
3	
4	

Дифференциальные уравнения свободных колебаний системы сводятся к системе линейных уравнений (1), которая имеет искомое решение при соблюдении условия (2) [13]:

$$\begin{aligned} (M_1 \delta_{11} - \lambda) a_1 + \dots + M_i \delta_{1i} a_i + \dots + M_n \delta_{1n} a_n &= 0, \\ M_1 \delta_{i1} a_1 + \dots + (M_i \delta_{ii} - \lambda) a_i + \dots + M_n \delta_{in} a_n &= 0, \\ M_1 \delta_{n1} a_1 + \dots + M_i \delta_{ni} a_i + \dots + (M_n \delta_{nn} - \lambda) a_n &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{vmatrix} (M_1 \delta_{11} - \lambda) & \dots & M_i \delta_{1i} & \dots & M_n \delta_{1n} \\ M_1 \delta_{i1} & \dots & (M_i \delta_{ii} - \lambda) & \dots & M_n \delta_{in} \\ M_1 \delta_{n1} & \dots & M_i \delta_{ni} & \dots & (M_n \delta_{nn} - \lambda) \end{vmatrix} = 0, \quad (2)$$

где $\lambda = 1/\omega^2$ – величина, обратная квадрату круговой собственной частоты колебаний; M_i – приведенная масса этажа исходя из консольной расчетной динамической модели; δ_{ij} – элемент матрицы податливости системы, определяемый как удельное перемещение сосредоточения i -й массы от единичной силы, приложенной в точке сосредоточения j -й массы, зависит от мгновенной жесткости здания.

Введенные в схему рамы связи включаются по достижении определенного значения перемещений и значительно повышают ее жесткость, что изменяет ее собственную частоту. В качестве связей выбраны стальные канаты диаметром

18 мм. В результате расчета поступательных колебаний для исходной системы и системы с введенными связями получены значения динамических характеристик, приведенные в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

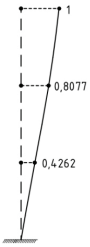
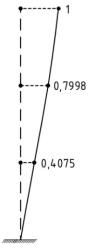
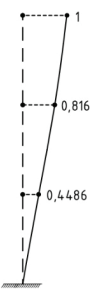
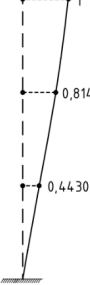
**Значения круговой частоты, периода, частоты колебаний
для расчетных схем без связей**

Номер комбинации сечений элементов	Круговая частота, ω , рад/с	Период, T , с	Частота, n , Гц	Коэффициенты формы, φ	Форма
1	13,0981	0,4797	2,0846	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,8052$	
				$\varphi_3 = 0,4155$	
2	11,5488	0,5441	1,8381	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,7880$	
				$\varphi_3 = 0,4262$	
3	8,0192	0,7835	1,2763	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,8236$	
				$\varphi_3 = 0,4500$	
4	7,6498	0,8213	1,2175	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,8152$	
				$\varphi_3 = 0,4315$	



Таблица 3

**Значения круговой частоты, периода, частоты колебаний
для расчетных схем со связями**

Номер комбинации сечений элементов	Круговая частота, ω , рад/с	Период, T , с	Частота, n , Гц	Коэффициенты формы, φ	Форма
1	16,8508	0,3729	2,6819	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,8077$	
				$\varphi_3 = 0,4262$	
2	15,8833	0,3956	2,5279	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,7998$	
				$\varphi_3 = 0,4075$	
3	13,2903	0,4728	2,1152	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,8165$	
				$\varphi_3 = 0,4486$	
4	13,0860	0,4802	2,0827	$\varphi_1 = 1$	
				$\varphi_2 = 0,8146$	
				$\varphi_3 = 0,4430$	

Согласно [12], были найдены расчетные сейсмические нагрузки. Динамический коэффициент позволяет динамический расчет строительных конструкций заменить статическим расчетом. Принимая полученные по [12] расчет-

ные значения силовых сейсмических нагрузок справедливыми для условий резонанса, и поделив их на соответствующий динамический коэффициент, получаем расчетные статические нагрузки (табл. 4). Динамический коэффициент для железобетона в условиях резонанса достигает примерно 10.

Таблица 4

Значения расчетных статических нагрузок

Номер этажа	K_0	K_1	S_{0ik} , кН	S_{ik} , кН	Без связей		Со связями	
					Динамич. коэф., μ	Статические нагрузки, кН	Динамич. коэф., μ	Статические нагрузки, кН
Комбинация сечений № 1								
1	1	0,4	69,5109	27,8046	10	2,7805	2,4952	6,9376
2			83,9541	33,5816		3,3582		8,3791
3			43,3196	17,3278		1,7328		4,3236
Комбинация сечений № 2								
1	1	0,4	65,8923	26,3569	10	2,6357	2,0995	5,5337
2			77,8882	31,1553		3,1155		6,5412
3			36,3134	14,5254		1,4525		3,0497
Комбинация сечений № 3								
1	1	0,4	53,7519	21,5008	10	2,1501	1,5603	3,3548
2			66,4046	26,5618		2,6562		4,1443
3			32,2816	14,5126		1,4513		2,2644
Комбинация сечений № 4								
1	1	0,4	52,7966	21,1187	10	2,1119	1,5077	3,1841
2			64,5615	25,8246		2,5825		3,8937
3			34,1729	13,6692		1,3669		2,0610

Принимая частоту колебаний грунта равной частоте собственных колебаний первой расчетной схемы, по формуле (3) был найден динамический коэффициент для системы со связями:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\theta^2}{\omega_{\Pi}^2}\right)^2 + \gamma^2 \frac{\theta^2}{\omega_{\Pi}^2}}}, \quad (3)$$

где γ – коэффициент неупругого сопротивления, принимаемый для железобетона равным 0,1; $\theta = \omega_1$ – частота колебаний грунта; ω_{Π} – собственная частота колебаний системы со связями.

В таком случае расчетные динамические силовые составляющие сейсмической нагрузки для системы со связями могут быть получены умножением статических нагрузок на полученный динамический коэффициент.

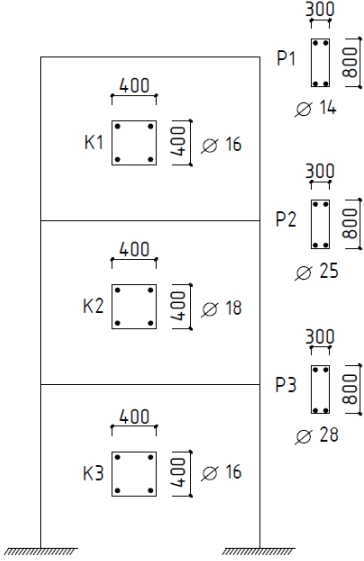
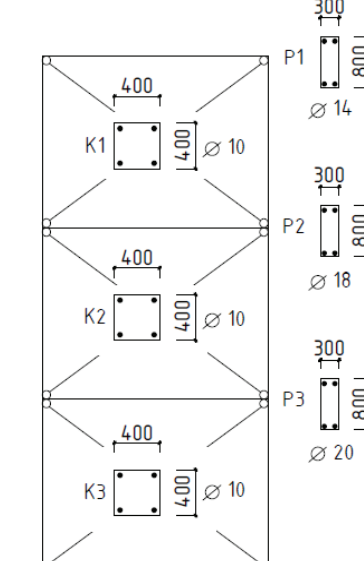
К каждой из систем были приложены постоянные нагрузки на перекрытия и силовые составляющие сейсмических нагрузок, в результате получены значения продольных сил и моментов в колоннах на каждом этаже. Далее был выполнен подбор необходимого армирования для колонн на каждом уровне. Экономический эффект отражен в табл. 5. Введение связей привело к уменьшению стоимости конструкций в среднем на 20–25 %.

**Результаты исследования**

Наиболее экономически эффективной оказалась конструктивная схема со связями с четвертой комбинацией сечений. Введение связей позволило сэкономить на стоимости строительных материалов на 33 %. При этом в исполнении без связей данная схема была наименее экономически эффективной.

Таблица 5

Итоговая стоимость строительных материалов

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 1		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40 	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25 
Стоимость арматуры, руб.	21 876	10 704
Стоимость бетона, руб.	38 880	34 560
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	60 756	46 964



Продолжение табл. 5

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 2		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25
Стоимость арматуры, руб.	26 892	12 816
Стоимость бетона, руб.	32 830	29 720
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	59 722	44 236



Продолжение табл. 5

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 3		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25
Стоимость арматуры, руб.	20 124	15 192
Стоимость бетона, руб.	31 320	27 000
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	51 444	43 892



Окончание табл. 5

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 4		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25
Стоимость арматуры, руб.	35 712	16 920
Стоимость бетона, руб.	25 270	22 160
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	60 982	40 780

Выводы

В настоящем исследовании были учтены только цены на строительные материалы без стоимости работ и пр., тем не менее это позволяет оценить экономическую эффективность в первом приближении.

Применение методов активной сейсмозащиты при правильном проектировании значительно повышает надежность здания, снижает сейсмические нагрузки, обеспечивает сохранность и надежность оборудования, позволяет существенно повысить экономические показатели зданий и сооружений, эффективно защищает здание от последствий землетрясения, а также обеспечивает комфорт для жителей.

Исследованные в настоящей работе адаптивные системы сейсмозащиты с



включающимися связями в виде провисающих растяжек наглядно показывают свою эффективность. Применение подобного рода систем позволяет сэкономить на несущих конструкциях вследствие снижения необходимого армирования, что уменьшает сметную стоимость и материалоемкость здания.

Работа выполнена при поддержке Научно-образовательного центра Нижегородской области «Техноплатформа 2035» в рамках соглашения № 16-11-2021/55.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы развития систем сейсмоизоляции современных зданий и сооружений / Г. А. Джинчвелашвили, А. В. Колесников, В. Б. Заалишвили, И. С. Годустов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2009. – № 6. – С. 27–31.
2. Некоторые проблемы сейсмостойкого строительства в Красноярском крае / Н. П. Абовский, В. Г. Сибгатулин, В. И. Палагушкин, С. А. Перетокин, Т. Г. Краснокаменская, С. М. Забродин, И. Р. Худобердин. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений : сборник докладов международной конференции / ЦНИИСК им. Кучеренко. – Москва, 2009. – С. 296–307.
3. Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкого строительства / Н. Ньюмарк, Э. Розенблюэт ; сокр. перевод с английского Г. Ш. Подольского ; под редакцией Я. М. Айзенберга. – Москва : Стройиздат, 1980. – 344 с. – Текст : непосредственный.
4. Позняк, Е. В. Об оценке влияния сейсмических ротаций на динамику строительных конструкций / Е. В. Позняк. – Текст : непосредственный // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2017. – № 9 (246). – С. 14–23.
5. Амосов, А. А. Основы теории сейсмостойкости сооружений / А. А. Амосов, С. Б. Сеницын. – Москва : АСВ. 2001. – 96 с. – ISBN 5-93093-083-X.
6. Поляков, В. С. Современные методы сейсмозащиты зданий / В. С. Поляков, Л. Ш. Килишкин, А. В. Черкашин. – Москва : Стройиздат, 1989. – 320 с. – Текст : непосредственный.
7. Саргсян, А. Е., Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости сооружений с сейсмоизолирующими опорами / А. Е. Саргсян, Г. А. Джинчвелашвили. – Текст : непосредственный // Транспортное строительство. 1998. – № 11. – С. 19–23.
8. Черепинский, Ю. Д. Сейсмоизоляция зданий. Строительство на кинематических опорах / Ю. Д. Черепинский. – Москва : Blue Apple, 2009. – 47 с. – ISBN 978-5-212-01113-6. – Текст : непосредственный.
9. Смирнов, В. И. Международный семинар по сейсмоизоляции высоких зданий (Ереван, Армения, 15-17 июня 2006 г.) / В. И. Смирнов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2006. – № 4. – С. 33–38.
10. Viscoelastic Dampers for Seismic Protection of Buildings: an Application to an Existing Building / Castellano M. G. [et al.] // Proceedings of the 5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures. – Rome (Italy), 2001. – October 7–11. – P. 12.
11. MAURER Seismic Isolation Systems. Products and Technical Information. 02.05.2003/ VTE. – P. 1–18.
12. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 мая 2018 г. № 309/пр : актуализированная редакция СНиП II-7-81* : дата введения 25 ноября 2018 г.: [редакция от 01 января 2021 года]. – Москва : ФГУП Стандартинформ, 2018 г. – 115 с. – Текст : непосредственный.
13. Хазов, П. А. Динамический анализ изгибно-крутильных колебаний каркасного здания с неравномерным распределением жесткостей при сейсмических воздействиях / П. А. Хазов, Л. Ю. Цветнова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород 2021. – № 3(59). – С. 24–38.



KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; GRIGOREVA Elizaveta Nikolaevna, student; SITNIKOVA Anna Konstantinovna, student

THE ECONOMIC EFFICIENCY ANALYSIS OF ADAPTIVE SEISMIC PROTECTION SYSTEMS BY THE EXAMPLE OF A REINFORCED CONCRETE FRAME BUILDING

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919;
e-mail: khazov.ngasu@mail.ru, grigoreva.lizetta@gmail.com, sitanngd@gmail.com

Key words: earthquakes, seismic loads, dynamic characteristics, active seismic protection, adaptive seismic protection systems, switching connections.

The article presents calculation and comparative analysis of the operation of the load-bearing structures of a frame building under seismic activity conditions using switching connections in the form of sagging stretch marks. The economic efficiency of the use of adaptive systems is determined as a result of the possibility of reducing the cost of the supporting structures of the building.

REFERENCES

1. Dzhinchvelashvili G. A., Kolesnikov A. V., Zaalishvili V. B., Godustov I. S. Perspektivy razvitiya sistem seysmoizolyatsii sovremennykh zdaniy i sooruzheniy [Prospects for the development of seismic isolation systems for modern buildings and structures] Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy [Seismic construction. Building safety]. – 2009. – № 6. – P. 27–31.
2. Abovskiy N. P., Sibgatulin V. G., Palagushkin V. I., Inzhutov I. S., Khudoberdin I. R. Nekotorye problemy seysmostoykogo stroitelstva v Krasnoyarskom krae [Some problems of earthquake-resistant construction in the Krasnoyarsk Territory]. Sbornik dokladov mezhdunarodnoy konferentsii «Aktualnye problemy issledovaniy po teorii sooruzheniy». TsNIISK im. Kucherenko [Collection of reports of the international conference «Actual problems of research on the theory of structures». CNIISK named after Kucherenko] – Moscow, 2009. – P. 296–307.
3. Newmark N., Rosenblueth E. Osnovy seysmostoykogo stroitelstva [Earthquake Engineering Basics]; sokr. preevod s angl. G. Sh. Podolskogo; pod red. Ya. M. Ayzenberga. – Moscow : Stroyizdat, 1980, 344 p.
4. Poznyak E. V. Ob otsenke vliyaniya seysmicheskikh rotatsiy na dinamiku stroitelnykh konstruktсий [On assessing the impact of seismic rotations on the dynamics of building structures]. Spravochnik. Inzhenerny zhurnal s prilozheniem [Handbook. An Engineering journal with appendix]. 2017. № 9 (246). P. 14–23.
5. Amosov A. A., Sinitsyn S. B. Osnovy teorii seysmostoykosti sooruzheniy [Fundamentals of seismic resistance theory of structures]. Moscow, ASV. 2001. 96 p. – ISBN 5-93093-083-X.
6. Polyakov V. S., Kilishkin L. Sh., Cherkashin A. V. Sovremennye metody seysmozaschity zdaniy [Modern methods of building seismic protection]. Moscow, Stroyizdat, 1989, 320 p.
7. Sargsyan A. E., Dzhinchvelashvili G. A. Otsenka seysmostoykosti i seysmoustoychivosti sooruzheniy s seysmoizoliruyuschimi oporami [Evaluation of seismic resistance and seismic stability of structures with seismic isolation supports]. Transportnoe stroitelstvo [Transport construction]. 1998, № 11, P. 19–23.
8. Cherepinskiy Yu. D. Seysmoizolyatsiya zdaniy [Seismic isolation of buildings]. Stroitelstvo na kinematicheskikh oporakh [Construction on kinematic supports]. Moscow, Blue Apple. 2009, 47 p. – ISBN 978-5-212-01113-6.
9. Smirnov V. I. Mezhdunarodny seminar po seysmoizolyatsii vysokikh zdaniy (Erevan, Armeniya, 15–17 iyunya 2006) [International seminar on seismic isolation for tall buildings (Yerevan, Armenia, June 15–17 2006)]. Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy



[Seismic construction. Building safety]. 2006. № 4. P. 33–38.

10. Castellano M. G. et al. 2001. Viscoelastic Dampers for Seismic Protection of Buildings: an Application to an Existing Building. Proceedings of the 5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures, Rome, Italy, 2001. October 7–11. P. 12.

11. MAURER Seismic Isolation Systems. Products and Technical Information. 02.05.2003/VTE – P. 1–18.

12. SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas]. Svod pravil: izd. ofitsialnoe: utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 24 maya 2018 g. № 309/pr : aktualizirovannaya red. SNiP II-7-81*: data vved. 25 noyabrya 2018 g. : redaktsiya ot 01. yanvarya 2021. – Moscow : FGUP Standartinform, 2018 g. – 115 p.

13. Khazov P. A., Tsvetnova L. Yu. Dinamicheskiy analiz izgibno-krutilnykh kolebaniy karkasnogo zdaniya s neravnomernym raspredeleniem zhyostkostey pri seysmicheskikh vozdeystviyakh [Dynamic analysis of flexion-torsional vibrations of a frame building with unequal distribution of rigidity under seismic impact]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. – № 3(59). – P. 24–38.

© П. А. Хазов, Е. Н. Григорьева, А. К. Ситникова, 2022

Получено: 14.03.2022 г.

УДК 699.841:624.15

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **Н. М. ДЕУЛИНА**, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; **М. Л. ПОЗДЕЕВ**, студент; **Е. С. БОРИСКИНА**, студент

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ФУНДАМЕНТА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ: КОНЦЕПЦИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, nataliadeul98@gmail.com, maksim.leon.pz@yandex.ru,
catherineboriskina@yandex.ru

Ключевые слова: адаптивный фундамент, сейсмостойкость, динамический коэффициент.

Рассмотрены современные адаптивные системы сейсмозащиты зданий и сооружений. Приводится концепция модели адаптивного фундамента. Рассмотрен принцип работы адаптивного фундамента и его влияние на динамический коэффициент при сейсмических колебаниях.

Сейсмическая активность – широко изученное явление, позволившее человечеству копнуть глубже в геологических и геофизических исследованиях. Однако несмотря на это, землетрясения носят разрушительный характер, что вынуждает жителей соответствующих регионов бороться за сохранность своих домов и строений посредством их конструктивных видоизменений.

Под конструктивными видоизменениями понимаются корректировки стандартной системы «основание-фундамент-здание» таким образом, чтобы в каждом из взаимодействий были обеспечены устойчивость и надежность конструкции в