Для цитирования: Абакаров А.Д., Омаров Х.М. Сейсмическая реакция каркасных зданий с комбинированной системой сейсмозащиты. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):116-126. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-116-126

For citation: Abakarov A.D., Omarov Kh.M. Seismic response of frame buildings with combined earthquake protection system. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):116-126. (In Russ.)

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-116-126

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 699.841

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-116-126

СЕЙСМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ

Абакаров А.Д.¹, Омаров Х.М.²

¹⁻²Дагестанский государственный технический университет, 367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, e-mail: ¹a.abacarov@bk.ru, ²omarov.1987@inbox.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является поиск методов повышения эффективности системы сейсмозащиты с резинометаллическими сейсмоизолирующими опорами путем комбинирования с элементами сухого трения и хрупкого выключения. Метод. Исследование основано на методах динамического моделирования. Результат. Составлены расчетная динамическая модель комбинированной системы сейсмозащиты и система дифференциальных уравнений сейсмического движения пятиэтажного каркасного здания, а также разработан алгоритм оценки эффективности и выбора оптимальных параметров системы сейсмозащиты. Определены горизонтальные сдвигающие сейсмические силы, максимальные перемещения масс и максимальные перемещения резинометаллических сейсмоизолирующих опор при разных интенсивностях и преобладающих периодах сейсмических колебаний грунтов. Доказано, что при использовании комбинированной системы сейсмозащиты сейсмические нагрузки на каркасные здания снижаются в 1,5-2 раза, а максимальные перемещения масс - 4-5 раз. Кроме того существенно расширяется область рационального применения систем сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами по отношению к преобладающим периодам сейсмических колебаний грунтов. Вывод. Комбинированная система сейсмозащиты позволяет расширить область эффективного применения резинометаллических опор за счет увеличения диапазона возможных преобладающих периодов сейсмических колебаний грунтов, при которых максимальное перемещение верха резинометаллических опор не превышает предельно допустимого значения, и снижения максимальных остаточных перемещений резинометаллических опор со свинцовым сердечником.

Ключевые слова: сейсмические воздействия, каркасные здания, резинометаллические сейсмоизолирующие опоры, элементы сухого трения, выключающиеся элементы, горизонтальные сдвигающие сейсмические силы, максимальные перемещения масс, максимальные перемещения резинометаллических сейсмоизолирующих опор

TECHICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

SEISMIC RESPONSE OF FRAME BUILDINGS WITH COMBINED EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEM

Abakar J. Abakarov ¹, Khadzhimurad M. Omarov ²
¹⁻²Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia
e-mail: ¹a.abacarov@bk.ru, ²omarov.1987@inbox.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to search for methods to improve the efficiency of the earthquake protection systems with rubber-metallic seismic insulating supports by combining them with dry friction and brittle uncoupling elements. Method The research is based on dynamic modelling methods. Results The computational dynamic model of the combined earthquake protection system and the system of differential equations of the seismic motion of a five-story frame building were compiled and an algorithm for estimating the efficiency and selection of the optimum parameters of the earthquake protection system was developed. Horizontal shifting seismic forces, maximum mass movements and maximum movements of rubber-metallic seismic insulating supports at different intensities and prevailing periods of seismic soil oscillations were determined. It is shown that, by using a combined earthquake protection system, seismic loads on frame buildings can be reduced by a factor of 1.5-2 and maximum mass movements – by 4-5 times. In addition, the area of rational application of seismic isolation systems with rubber-metallic supports in relation to the prevailing periods of seismic ground oscillations is expanding substantially. Conclusion The combined earthquake protection system allows the area of effective use of rubber-metallic supports to be expanded by increasing the range of possible prevailing periods of seismic soil vibrations at which the maximum movement of the top of the rubber-metallic supports does not exceed the maximum allowable value. The maximum residual movements of rubber-metallic supports can be reduced by using a lead core.

Keywords: seismic actions, frame buildings, rubber-metallic seismic insulating supports, elements of dry friction, shutdown elements, horizontal shearing seismic forces, maximum mass movements, maximum movements of rubber-metallic seismic insulating supports

Введение. Современное обеспечение сейсмостойкости является довольно-таки дорогостоящей задачей, особенно для объектов повышенной ответственности. Поэтому поиск путей эффективного повышения сейсмостойкости зданий и сооружений в последние десятилетия был направлен на разработку системы активной сейсмозащиты. Подробный перечень авторских свидетельств в этом направлении дан в работе. [1].

В отличие от традиционных способов обеспечения сейсмостойкости, связанных с повышением несущей способности конструкций, системы активной сейсмозащиты позволяют снизить уровни инерционных сил, возникающих в зданиях при землетрясении, т.е. сейсмических нагрузок. Впервые предложение об использовании систем сейсмозащиты в виде катковых опор и колонн со сферическими верхними и нижними опорами было опубликовано М. Вискордини в 1925 году.

С этого момента в строительстве был исследован и реализован целый ряд систем активной сейсмозащиты [2 -27].

Постановка задачи. Более широкое применение для обеспечения сейсмостойкости и надежности зданий и сооружений находят сейсмоизолирующие резинометаллические опоры [6], имеющие достаточную жесткость в вертикальном направлении и хорошую податливость в горизонтальной плоскости. Если в зданиях жесткого конструктивного решения они обладают достаточно высокой эффективностью, то в гибких зданиях возникают проблемы связанные с их недопустимо большими перемещениями при сейсмических воздействиях с преобладающими низкими частотами колебаний грунтов. Как один из путей решения этой проблемы в данной

статье исследуется система сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами, дополненную элементами сухого тренияи выключающимися элементами.

Одним из крупнейших в Европе изготовителем сейсмоизолирующих опор является итальянская фирма«FIPINDUSTRIAL». Данная фирма выпускает широкий ассортимент резинометаллических опор, которые классифицируются в зависимости от типов резины на мягкие, нормальные и жесткие. Кроме того они изготавливаются со свинцовым сердечником и без него. В данной работе, как более эффективные для гибких зданий, рассматриваются жесткие резинометаллические опоры со свинцовым сердечником. На рисунке 1 показана конструктивная схема исследуемой комбинированной системы сейсмозащиты.

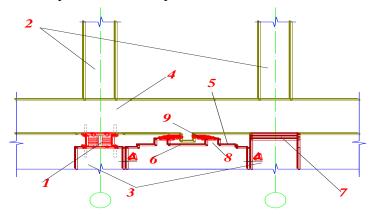


Рис.1. Комбинированная система сейсмозащиты:

1— сейсмоизолирующая резинометаллическая опора; 2— колонны надфундаментной части здания; 3— стойки цокольногоэтажа здания; 4— железобетонный опорный пояс в уровне низа колонн; 5— диафрагма жесткости между колоннами; 6— зазор между выступом из пояса и упорами ограничителями; 7— элементы сухого трения; 8— упор ограничитель; 9— выключающиеся элементы; Δ_1 — зазор между стойками цокольного этажа и диафрагмой жесткости в цокольном этаже

Fig.1. Combined seismic protection system:

1 - seismic insulating rubber mount; 2 - columns of the above-foundation part of the building; 3 - racks of the basement of the building; 4 - reinforced concrete support belt at the bottom of the column; 5 - stiffening diaphragm between the columns, 6 - gap between the shoulder of the belt and the stops of the stops; 7 - elements of dry friction; 8 - stop limiter; 9 - switching elements; $\Delta 1$ - gap between the pillars of the basement and the diaphragm of rigidity in the basement

Методы исследования. Расчетную динамическую модель исследуемой комбинированной системы сейсмозащиты представим в виде консольного стержня n+1 числом сосредоточенных масс, как это показано на рис. 2.

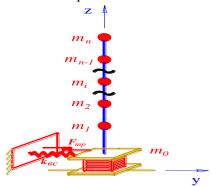


Рис.2.Динамическая модель здания с комбинированной системой сейсмозащиты, включающая резинометаллические опоры, элементы сухого трения и выключающиеся элементы

Fig.2.Dinamic model of the building with a combined seismic protection system, including rezinometallic bearings, dry friction elements and switching elements

Систему дифференциальных уравнений движения указанной выше нелинейной динамической модели, подвергнутой сейсмическому воздействию, представляем в виде: $m_0\ddot{y}_0 + c_0\dot{y}_0 + c_1(\dot{y}_0 - \dot{y}_1) + R(y_0) + F_{\text{TD}}sign\dot{y}_0 + \xi y_0 + k_1(y_0 - y_1) = -m_0\ddot{y}_{\text{TD}}$

Здесь m_0 — масса, сосредоточенная на уровне верха резинометаллических опор; $m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_{n-1}, m_n$ — сосредоточенные массы на уровнях перекрытий; $k_1, k_2, \ldots, k_i \ldots, k_{n-1}, k_n$ — поэтажные жесткости здания; $c_0, c_1, c_2, \ldots, c_{n-1}, c_n$ — поэтажные коэффициенты затухания; \ddot{y}_{rp} — сейсмическое воздействие, представляемое в виде реальной акселерограммы или нестационарного случайного процесса; $R(y_0)$ — нелинейная восстанавливающая сила в резинометаллических опорах; y_0 — перемещение в уровне верха резинометаллических опор; y_1, y_2, \ldots, y_n — перемещения соответствующих масс, а $\dot{y}_0, \dot{y}_1, \ldots, \dot{y}_n, \ddot{y}_0, \ddot{y}_1, \ldots, \ddot{y}_n$ — скорости и ускорения этих масс.

Восстанавливающую силу $R(y_0)$ представим в виде [24]

$$R(y_0) = Ay_0(1-\text{sign}\omega) + (By_0 + \varsigma(F_1-Bd_1))\frac{1}{2}(\text{sign}\omega + (1-\text{sign}\psi))(1-\text{sign}\eta) + (Ay_0 + \varsigma(AC + F_1-D))\text{sign}\eta.$$
 (2)

В системе (1) ${\it F}_{\rm Tp}$ - сила трения в скользящих опорах.

При одинаковом их количестве с резинометаллическими опорами

$$F_{\rm Tp} = f_{\rm Tp} 0.5 \sum_{i=1}^{n} m_i g, \tag{3}$$

где, f_{TD} – коэффициент трения скольжения в опорах.

Единичная функция
$$\operatorname{sign}\dot{y}_0 = \begin{cases} -1, \, \text{когда} \, \dot{y}_0 > 0 \\ 1, \, \text{когда} \, \dot{y}_0 < 0. \end{cases}$$
 (4)

Через $€y_0$ обозначена восстанавливающая сила в выключающихся элементах. Здесь, согласно зависимости «Сила-перемещение», показанной на рис.3

$$\in$$
 $=egin{cases} m{k}_{ ext{BC}1}$, когда $|m{y}_0| < m{b}_1 \ m{k}_{ ext{BC}2}$, когда $m{b}_1 \leq |m{y}_0| < m{b}_2 \ m{k}_{ ext{BC}3}$, когда $m{b}_2 \leq |m{y}_0| < m{b}_3 \ m{0}$, когда $m{b}_3 \leq |m{y}_0|$

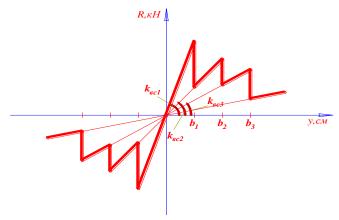


Рис.3. График зависимости «Восстанавливающая сила - перемещение» для системы из трех последовательно выключающихся элементов Fig.3. The plot of the «Restoring force-displacement» relationship for a system of three consecutively-off elements

 $k_{\rm BC1}$ -жесткость в состоянии работы всех выключающихся элементов;

 $k_{\rm BC2}$ – жесткость в состоянии выключенияэлементов І-го уровня;

 $k_{\rm Bc3}$ – жесткость в состоянии выключенияэлементов II-го уровня;

 b_1 – перемещение, при котором происходит выключение элементов первогоуровня;

 b_2 – перемещение, при котором происходит выключение элементоввторогоуровня;

 b_3 – перемещение, при котором происходит выключение элементовтретьегоуровня.

Далее приведены результаты исследования влияния выключающихся элементов и элементов сухого трения на перемещения резинометаллических сейсмоизолирующих опор и верха колонн в 5-ти этажных каркасных зданиях.

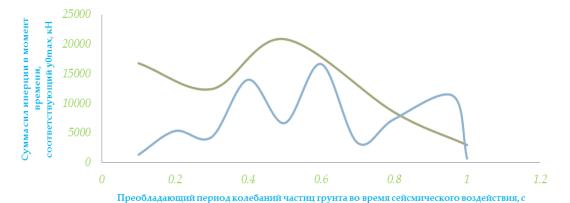
В рассматриваемой комбинированной системе сейсмозащиты, состоящей из резинометаллических опор со свинцовым сердечником, элементов сухого трения с коэффициентом трения 0,2 и выключающихся элементов, были приняты следующие значения жесткостей выключающихся элементов и предельных перемещений, при которых происходит выключение указанных элементов:

 $egin{aligned} & \pmb{k}_{\rm BC1} - 9616,6 \ {\rm KH/cm}; & \pmb{b_1} - 6 \ {\rm cm}; \\ & \pmb{k}_{\rm BC2} - 6400 \ {\rm KH/cm}; & \pmb{b_2} - 8 \ {\rm cm}; \\ & \pmb{k}_{\rm BC3} - 3205 \ {\rm KH/cm}; & \pmb{b_3} - 10 \ {\rm cm}. \end{aligned}$

Обсуждение результатов. Максимальные значения горизонтальных сдвигающих сейсмических сил в момент времени, соответствующий максимальному перемещению нижней сосредоточенной массы показаны на рис. 4.



б)



5-тиэтажное каркасное здание с жесткими опорами и с коэффициентом сухого трения 0,2

— 5-тиэтажное каркасное здание с жесткими опорами, с выключающимися связями и с коэффициентом сухого трения 0,2



Рис.4. Графики горизонтальных поэтажных сдвигающих сейсмических сил для 5-ти этажного каркасного здания:

а – с комбинированной системой сейсмозащиты; б – без сейсмоизоляции Fig.4. Graphs of horizontal seismic shifting seismic forces for a 5-story frame building: A - with a combined seismic protection system; Б - without seismic isolation

Графики показывают, что применение комбинированной системы сейсмозащиты, состоящей из РМСО, элементов сухого трения и выключающихся элементов в каркасных зданиях снижает максимальные поэтажные сдвигающие силы почти в 1,5 раза в момент времени, когда перемещение резинометаллической опоры максимально.

По сравнению со зданием без систем сейсмоизоляции наблюдается почти двукратное снижение этих сил при низкочастотных сейсмических воздействиях.

Максимальные значения горизонтальных перемещений масс рассматриваемой системы показаны на рис. 5.

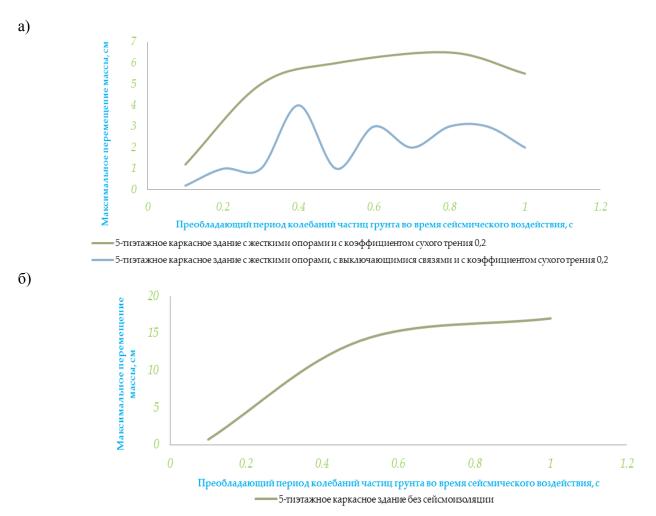


Рис.5. Графики перемещений сосредоточенных масс для 5-тиэтажного каркасного здания:

а – с комбинированной системой сейсмозащиты; б – без сейсмоизоляции Fig.5. The graphs of the movements of concentrated masses for a 5-story frame building: a - with a combined seismic protection system; б - without seismic isolation

Из рисунков 5а и 5б следует, что комбинирование резинометаллических опор только с элементами сухого тренияприводит кснижению максимальных перемещений масс в 2-3 раза, а с сухимтрением и выключающимися элементами — 4-5 раз.

Графики максимальных перемещений и остаточных деформаций РМСО показаны на рисунках 6 и 7. Из рис. 6 следует, что предельный уровень перемещения верха рассматриваемых резинометаллических опор, равный 40 см, в системе сейсмозащиты без выключающихся элементов достигает при преобладающих периодах сейсмических колебаний грунтов превышающих 0,8 с, а с выключающимися элементами — при периодах превышающих 1,0 с.



Рис.6. Графики зависимости максимального перемещения верха резинометаллических опор $|y_0|_{\max}$ от преобладающего периода колебаний грунтовдля 5-ти этажных каркасных зданий с комбинированной системой сейсмозащиты

Fig. 6. Graphs of the dependence of the maximum displacement of the top of the rubber-metal supports $[|y_0|]$ _max from the prevailing soil oscillation period for 5-story frame buildings with a combined seismic protection system

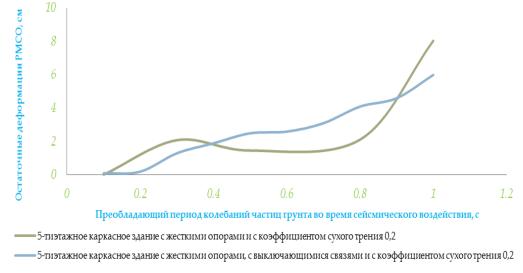


Рис.7. Графики зависимости максимальных остаточных перемещений $|y_0|_{\text{ост}}$ от преобладающего периода колебаний грунтов для 5-ти этажных каркасных зданий с комбинированной системой сейсмозащиты

Fig. 7. Graphs of the dependence of the maximum residual displacements $[| y_0 |]$ _of the prevailing period of soil oscillation for 5-story frame buildings with a combined seismic protection system

На рис. 7 показана эффективность введения в систему сейсмозащиты выключающихся элементов.

Вывод. Введение в систему сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами и с сухим трением выключающихся элементов, позволяющие адаптироваться системе по отношению к резонансным частотам колебаний грунтов основания, существенно повышает эффективность сейсмозащиты гибких сооружений при низкочастотных воздействиях.

Например, тогда как в 5-ти этажных рамных системах без сейсмоизоляции максимальная горизонтальная сдвигающая сила превышает 25000 кН при преобладающих периодах сейсмических колебаний грунтов превышающих 0,8 с, то при комбинированной

системе сейсмозащиты сдвигающая сила не превышает 10000 кН. Здесь в 4-5 раз снижаются и максимальные перемещения здания в уровнях сосредоточения масс.

Введение в систему сейсмозащиты выключающихся элементов позволяет расширить область эффективного применения резинометаллических опор за счет увеличения диапазона возможных преобладающих периодов сейсмических колебаний грунтов, при которых максимальное перемещение верха резинометаллических опор не превышает предельно допустимого значения, и снижения максимальных остаточных перемещений резинометаллических опор со свинцовым сердечником.

Библиографический список:

- 1. Плевков, В.С. Железобетонные и каменные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений / В.С. Плевков, А.И. Мальганов, И.В. Балдин//М.: Издательство АСВ, 2010. -290 с.
- 2. Айзенберг, Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов / Я.М.Айзенберг // М.: Стройиздат, 1976. 228 с.
- 3. Айзенберг, Я.М. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений / Я.М. Айзенберг, А.И. Нейман, А.Д. Абакаров, М.М. Деглина, Т.Л. Чачуа // М.: Наука, 1978. 248 с.
- 4. Айзенберг, Я.М. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты / Я.М. Айзенберг, М.М Деглина, Х.Н. Мажиев // Москва: Наука, 1983. 141 с.
- 5. Айзенберг, Я.М. Особенности резервирования для повышения надежности строительных сооружений при возможных сейсмических и других катастрофических воздействиях / Я.М. Айзенберг, А.Д. Абакаров // Строительная механика и расчет сооружений. Москва: 1987. №4—С.47-50.
- 6. Айзенберг, Я.М. Методические рекомендации по проектированию сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор/ Я.М. Айзенберг, В.И. Смирнов, Р.Т. Акбиев//. Москва: Российская академия спортивных сооружений, 2008, 46 с.
- 7. Елисеев, С.В. Динамические гасители колебаний / С.В. Елисеев // Новосибирск: Наука. -1982. -144 с.
- 8. Казина, Г.А. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений / Г.А.Казина, Л.Ш. Килимник // Обзор.М.: ВНИИС, 1987. -65 с.
- 9. Катен-Ярцев, А.С. Динамические испытания зданий с гравитационными системами сейсмоизоляции в Севастополе / А.С. Катен-Ярцев, В.В. Назин, Г.А. Зеленский, Ю.М. Шуляк // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник /ЦНИИС. Серия 14. 1977. Выпуск 7. С. 19-22.
- 10. Мартынов, Н.В. Активная сейсмозащита: варианты развития и критический анализ практических возможностей / Н.В. Мартынов // Симферополь: -2013. -216 с.
- 11. Михайлов, Г.М. Использование упругофрикционных систем в сейсмостойком строительстве / Г.М. Михайлов // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. 1974. Выпуск 3. С.36-38.
- 12. Мнакацанян, В.Л. Исследование сейсмостойкости фрикционных фундаментов сооружений / В.Л. Мнакацанян, О.В. Пешмалджян, А.А. Диланян // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. 1982. Выпуск 3. С.23-27.
- 13. Павлык, В.Г. Принцип проектирования сейсмостойких зданий с повышенными диссипативными свойствами / В.Г. Павлык // Материалы Всесоюзного совещания по проектированию и строительству сейсмостойких зданий и сооружений. Фрунзе: 1971. C.210-218.
- 14. Поляков В.С. Современные методы сейсмозащиты зданий / В.С. Поляков, Л.Ш. Килимник, А.В. Черкашина // Москва: Строительное издательство, 1989 320 с.
- 15. Применение систем сейсмоизоляции в зданиях и сооружениях (США): Экспресс информация / ВНИИС.Серия 14. 1985. Выпуск12. С.2-6.
- 16. Саакян, А.О. Повышение сейсмостойкости каркасных зданий со стволами жесткости с

- помощью демпферных устройств / А.О. Саакян, Р.О. Саакян, С.Х. Шахназарян // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. 1975. Выпуск 11. С.2-6.
- 17. Савинов, О.А. Сейсмоизоляция сооружений (концепция, принципы устройства, особенности расчета) / О.А. Савинов // Избранные статьи и доклады «Динамические проблемы строительной техники». Санкт-Петербург, 1993. С. 155-178.
- 18. Смирнов, В.И. Сейсмоизоляция зданий сооружений/ В.И. Смирнов // Промышленное и гражданское строительство. М.: 1997. №12—С.37-39.
- 19. Уздин, А.М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства / А.М. Уздин, Т.А. Сандович, Аль-Насер-МохамадСалих Амин // Санкт-Петербург: Издательство ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева. -1993. -176 с.
- 20. Черепинский, Ю.Д. К сейсмостойкости зданий на кинематических опорах / Ю.Д. Черепинский // Основания, фундаменты и механика грунтов 1972. № 3. С.13-15.
- 21. Черепинский, Ю.Д. Сейсмоизоляция зданий (Сборник статей) / Ю.Д. Черепинский // Москва, 2009. 358 с.
- 22. Чуденцов, В.П. Здания с сейсмозоляционным скользящим поясом и упругими ограничителями перемещений/ В.П. Чуденцов, Л.Л. Солдатова // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. 1979. Выпуск 5. С.1-3.
- 23. Юсупов, А.К. Проектирование сейсмостойких зданий на кинематических опорах / А.К. Юсупов // Махачкала: Лотос, 2006. С.423.
- 24. Абакаров, А.Д. Аппроксимация зависимости «Сила-перемещение» для сейсмоизолирующих резинометаллических опор со свинцовым сердечником / А.Д. Абакаров, Х.М. Омаров // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, Вып. 4 Т. 27. 2012. С. 61 70.
- 25. Catalogue on lead rubber bearings series LRB. «FIP Industriale S.P.A»
- 26. Conde, F.F. Seismic structures / F.F. Conde // International Simposium FIP, Tbilisi, 1972, p. 655-663.
- 27. Hwang, J.S. (1996). An equivalent linear model of lead-rubber seismic isolation bearings / J.S. Hwang, L.M.Chiou// Journal of Engineering Structures. 1996, 18(7), 528-536.

References:

- 1. Plevkov V.S., Mal'ganov A.I., Baldin I.V. Zhelezobetonnye i kamennye konstruktsii seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2010. 290 s. [Plevkov V.S., Mal'ganov A.I., Baldin I.V. Reinforced concrete and stone constructions of earthquake-proof buildings and structures. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2010. 290 p. (in Russ.)]
- 2. Ayzenberg Ya.M. Sooruzheniya s vyklyuchayushchimisya svyazyami dlya seysmicheskikh rayonov. Moscow: Stroyizdat; 1976. 228 s. [Ayzenberg Ya.M. Buildings with shutdown connections for seismic areas. Moscow: Stroyizdat; 1976. 228 p. (in Russ.)]
- 3. Ayzenberg Ya.M., Neyman A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptivnye sistemy seysmicheskoy zashchity sooruzheniy. Moscow: Nauka; 1978. 248 s. [Ayzenberg Ya.M., Neyman A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptive systems of seismic protection of constructions. Moscow: Nauka; 1978. 248 p. (in Russ.)]
- 4. Ayzenberg Ya.M., Deglina M.M., Mazhiev H.N. Seysmoizolyatsiya i adaptivnye sistemy seysmozashchity. Moscow: Nauka; 1983. 141 s. [Ayzenberg Ya.M., Deglina M.M., Mazhiev H.N. Seismic isolation and adaptive seismic protection systems. Moscow: Nauka; 1983. 141 p. (in Russ.)]
- 5. Ayzenberg Ya.M., Abakarov A.D. Osobennosti rezervirovaniya dlya povysheniya nadezhnosti stroitel'nykh sooruzheniy pri vozmozhnykh seysmicheskikh i drugikh katastroficheskikh vozdeystviyakh. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 1987; 4:47-50. [Ayzenberg Ya.M., Abakarov A.D. Reservation features for improving the reliability of building constructions with possible seismic and other catastrophic impacts. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 1987; 4:47-50. (in Russ.)]
- 6. Ayzenberg Ya.M., Smirnov V.I., Akbiev R.T. Metodicheskie rekomendatsii po

- proektirovaniyu seysmoizolyatsii s primeneniem rezinometallicheskikh opor. Moscow: Rossiyskaya akademiya sportivnykh sooruzheniy; 2008. 46 s. [Ayzenberg Ya.M., Smirnov V.I., Akbiev R.T. Methodical recommendations for the design of seismic isolation using rubbermetallic supports. Moscow: Rossiyskaya akademiya sportivnykh sooruzheniy; 2008. 46 p. (in Russ.)]
- 7. Eliseev S.V. Dinamicheskie gasiteli kolebaniy. Novosibirsk: Nauka; 1982. 144 s. [Eliseev S.V. Dynamic vibration absorbers. Novosibirsk: Nauka; 1982. 144 p. (in Russ.)]
- 8. Kazina G.A., Kilimnik L.Sh. Sovremennye metody seysmozashchity zdaniy i sooruzheniy. Obzor. Moscow: VNIIS; 1987. 65 s. [Kazina G.A., Kilimnik L.Sh. Modern methods of seismic protection of buildings and constructions. Review. Moscow: VNIIS; 1987. 65 p. (in Russ.)]
- 9. Katen-Yartsev A.S., Nazin V.V., Zelenskiy G.A., Shulyak Yu.M. Dinamicheskie ispytaniya zdaniy s gravitatsionnymi sistemami seysmoizolyatsii v Sevastopole. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1977; 14(7):19-22. [Katen-Yartsev A.S., Nazin V.V., Zelenskiy G.A., Shulyak Yu.M. Dynamic tests of buildings with gravity seismic isolation systems in Sevastopol. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1977; 14(7):19-22. (in Russ.)]
- 10. Martynov N.V. Aktivnaya seysmozashchita: varianty razvitiya i kriticheskiy analiz prakticheskikh vozmozhnostey. Simferopol': 2013; 216 s. [Martynov N.V. Active seismic protection: development options and critical analysis of practical possibilities. Simferopol': 2013; 216 s. (in Russ.)]
- 11. Mikhaylov G.M. Ispol'zovanie uprugofriktsionnykh sistem v seysmostoykom stroitel'stve. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1974; 14(3):36-38. [Mikhaylov G.M. The use of elastic-friction systems in earthquake-resistant construction. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1974; 14(3):36-38. (in Russ.)]
- 12. Mnakatsanyan V.L., Peshmaldzhyan O.V., Dilanyan A.A. Issledovanie seysmostoykosti friktsionnykh fundamentov sooruzheniy. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1982; 14(3):23-27. [Mnakatsanyan V.L., Peshmaldzhyan O.V., Dilanyan A.A. Investigation of earthquake resistance of the friction foundations of constructions. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1982; 14(3):23-27. (in Russ.)]
- 13. Pavlyk V.G. Printsip proektirovaniya seysmostoykikh zdaniy s povyshennymi dissipativnymi svoystvami. Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po proektirovaniyu i stroitel'stvu seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Frunze: 1971.S.210-218. [Pavlyk V.G. The principle of design of earthquake resistant buildings with increased dissipative properties. Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po proektirovaniyu i stroitel'stvu seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Frunze: 1971.S.210-218. (in Russ.)]
- 14. Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashina A.V. Sovremennye metody seysmozashchity zdaniy. Moskva: Stroitel'noe izdatel'stvo; 1989. 320 s. [Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashina A.V. Modern methods of seismic protection of buildings. Moscow: Stroitel'noe izdatel'stvo; 1989. 320 p. (in Russ.)]
- 15. Primenenie sistem seysmoizolyatsii v zdaniyakh i sooruzheniyakh (SShA): Ekspress informatsiya / VNIIS. 1985; 14(12):2-6. [Application of seismic isolation systems in buildings and structures (USA): Express information. VNIIS. 1985; 14(12):2-6. (in Russ.)]
- 16. Saakyan A.O., Saakyan R.O., Shakhnazaryan S.Kh. Povyshenie seysmostoykosti karkasnykh zdaniy so stvolami zhestkosti s pomoshch'yu dempfernykh ustroystv. Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1975; 14(11):2-6. [Saakyan A.O., Saakyan R.O., Shakhnazaryan S.Kh. in Seismic resistance increase of frame buildings with stiffeners by means of damper devices. Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1975; 14(11):2-6. (in Russ.)]
- 17. Savinov O.A. Seysmoizolyatsiya sooruzheniy (kontseptsiya, printsipy ustroystva, osobennosti rascheta). Izbrannye stat'i i doklady «Dinamicheskie problemy stroitel'noy tekhniki». Sankt-Peterburg: 1993. S. 155-178. [Savinov O.A. Seismic insulation of constructions (concept, device principles, calculation features). Izbrannye stat'i i doklady «Dinamicheskie problemy stroitel'noy tekhniki». Saint-Petersburg: 1993. P. 155-178. (in Russ.)]

- 18. Smirnov V.I. Seysmoizolyatsiya zdaniy sooruzheniy. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. Moscow: 1997; 12:37-39. [Smirnov V.I. Seismic insulation of buildings. Industrial and civil construction. Moscow: 1997; 12:37-39. (in Russ.)]
- 19. Uzdin A.M., Sandovich T.A., Salikh Amin Al'-Naser-Mokhamad. Osnovy teorii seysmostoy-kosti i seysmostoykogo stroitel'stva. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo VNIIG imeni B.E. Vedeneeva. 1993; 176 s. [Uzdin A.M., Sandovich T.A., Salikh Amin Al'-Naser-Mokhamad. Fundamentals of the theory of seismic stability and earthquake-proof construction. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo VNIIG imeni B.E. Vedeneeva. 1993; 176 p. (in Russ.)]
- 20. Cherepinskiy Yu.D. K seysmostoykosti zdaniy na kinematicheskikh oporakh. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1972; 3:13-15. [Cherepinskiy Yu.D. On seismic resistance of buildings with kinematic supports. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1972; 3:13-15. (in Russ.)]
- 21. Cherepinskiy Yu.D. Seysmoizolyatsiya zdaniy (Sbornik statey). Moscow; 2009. 358 s. [Cherepinskiy Yu.D. Seismic insulation of buildings (Collected papers). Moscow; 2009. 358 p. (in Russ.)]
- 22. Chudentsov V.P., Soldatova L.L. Zdaniya s seysmozolyatsionnym skol'zyashchim poyasom i uprugimi ogranichitelyami peremeshcheniy. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1979; 14(5):1-3. [Chudentsov V.P., Soldatova L.L. Buildings with seismoisolating sliding belt and elastic stoppers of movement. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1979; 14(5):1-3. (in Russ.)]
- 23. Yusupov A.K. Proektirovanie seysmostoykikh zdaniy na kinematicheskikh oporakh. Makhachkala: Lotos; 2006. 423 s. [Yusupov A.K. Design of seismic resistant buildings on kinematic supports. Makhachkala: Lotos; 2006. 423 p. (in Russ.)]
- 24. Abakarov A.D., Omarov Kh.M. Approksimatsiya zavisimosti «Sila-peremeshchenie» dlya seysmoizoliruyushchikh rezinometallicheskikh opor so svintsovym serdechnikom. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2012; 4(27):61-70. [Abakarov A.D., Omarov Kh.M. Approximation of the "Force-Displacement" dependence for seismically insulating rubber-metal supports with a lead core. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2012; 4(27):61-70. (in Russ.)]
- 25. Catalogue on lead rubber bearings series LRB. «FIP Industriale S.P.A»
- 26. Conde F.F. Seismic structures. International Simposium FIP. Tbilisi; 1972. P. 655-663.
- 27. Hwang, J.S., Chiou L.M. An equivalent linear model of lead-rubber seismic isolation bearings. Journal of Engineering Structures. 1996; 18(7):528-536.

Сведения об авторах.

Абакаров Абакар Джансулаевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура».

Омаров Хаджимурад Магомедкамильевич – ассистент кафедры «Архитектура» **Information about the authors.**

Abakar J. Abakarov - Dr. Sc. (Technical), Prof., Department of «Architecture».

Khadzhimurad M. Omarov – Assistant of the Department «Architecture».

Конфликт интересов

Conflict of interes

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 22.01.2017.

Received 22.01.2017.

Принята в печать 20.02.2017.

Accepted for publication 20.02.2017.