



УДК: 624.078

DOI: 10.35803/1694-5298.2021.2.236-241

**БОЛОТБЕК Т., АБДЫРАИМОВ Д.Ж., КАРАБАШОВ А.А.,  
КУДАЙБЕРГЕНОВ С.Б., МУКАНБЕТОВА Б.З.,  
ЖЕНИШБЕК УУЛУ Н.**

<sup>1</sup>Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им.  
Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

**BOLOTBEK T., ABDYRAIMOV D.J., KARABASHOV A.A.,  
KUDAYBERGENOV S.B., MUKANBETOVA  
B.Z., ZHENISHBEK UULU N.**

<sup>1</sup>Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture n.a. N.Isanov, Bishkek,  
Kyrgyz Republic  
temir.b.amir@gmail.com

## **РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ С РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ИЗОЛЯТОРАМИ**

## **CALCULATION AND MODELING OF BUILDINGS WITH RUBBER-METAL INSULATORS**

*Макала курулушта резина-металл изоляторлорун иштеп чыгууга, резина-металл изоляторлорун өнүктүрүүнүн актуалдуу маселелерине, ошондой эле бул шайманды сейсмикалык изоляцияда иштеп чыгуу келечегине арналган.*

**Өзөк сөздөр:** *изолятор; коопсуздук; сейсмикалык кубулуш; сейсмикалык изоляция; сейсмикалык туруктуулук; жер титирөө; ысыкка туруштук берүү.*

*Статья посвящена развитию резинометаллических изоляторов в строительстве, актуальным вопросам развития резинометаллических изоляторов, а также перспективам развития данного устройства в сейсмической изоляции.*

**Ключевые слова:** *изолятор; безопасность; сейсмическое явление; сейсмическая изоляция; сейсмостойкость; землетрясение; термостойкость.*

*The article is devoted to the development of rubber-metal insulators in construction, topical issues of the development of rubber-metal insulators, as well as the prospects for the development of this device in seismic isolation.*

**Key words:** *insulator; safety; seismic phenomenon; seismic isolation; seismic resistance; earthquake; heat resistance.*

Инерционная безопасность зданий при действии сейсмических сил является, безусловно, актуальной проблемой. В решении этой проблемы можно аппроксимировать методы активного противодействия сейсмическим силам, а именно метод гистерезисного демпфирования инерционных масс зданий и сооружений.

Активное противодействие сейсмическим силам даёт общее представление о степени защиты сооружений от землетрясений. Между тем, принципы активного противодействия сейсмическим силам имеют определённые различия, которые заключается в том, что некоторые структурные элементы зданий поглощают ударную энергию во время землетрясений.

Успешное решение этой проблемы гарантирует безопасность людей, проживающих в сейсмоактивных районах. Решение проблемы сейсмостойкости зданий за счёт увеличения их долговечности было первым применением, в котором началось применение сейсмостойких

строительных конструкций [3]. В сейсмически контролируемых сооружениях необходимые устройства, поглощающие энергию землетрясения, размещаются на верхних уровнях здания или на каждом этаже, что помогает снизить воздействие землетрясений на конструкцию.

Сейсмоизоляционные резинометаллические конструкции состоят из устройств виброизоляции, которые представляют собой изоляторы из стали с покрытием и высокопрочной резины, размещённые в основании здания. В этом случае даже при сильных сейсмических напряжениях здание медленно колеблется, а степень вероятности повреждения самой конструкции значительно снижается. Чтобы максимизировать преимущества сейсмически изолированной конструкции при строительстве здания, необходим многослойный демпфирующий резиновый изолятор со свинцовым сердечником в центре (рис. 1).

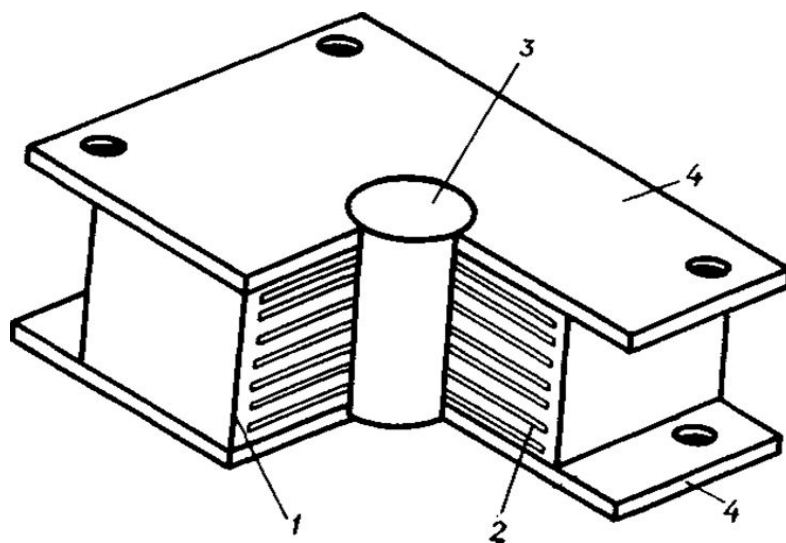


Рис. 1. Гистерезисный сейсмический изолятор  
1 – слой из каучука; 2 – слой из стали; 3 – сердечник из свинца; 4 – опорный корпус изолятора

Многослойные металлические изоляторы со свинцовым стержнем используются в строительстве более 80 лет и широко используются во всём мире. Кинетическая энергия землетрясения передаётся свинцовому ядру. Стержень может быть эластичным, чтобы он легко возвращался к первоначальной форме, как резина. Это свойство свинца помогает структуре уменьшить явление резонанса, которое может вызвать необратимые повреждения от длинноволновых колебаний.

Высокотемпературные явления с высокой кинетической энергией являются следствием землетрясений, что представляют собой особую опасность для зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах, поскольку эти здания имеют существенные особенности конструктивного решения. Одним из методов [4] снижения ускорений колебаний сейсмических воздействий является устройство в основании здания сейсмоизолирующих резинометаллических опор. За огнеупорность резинометаллической опоры принимается такое ее состояние, при котором остаточные упругопластические свойства конструкции обеспечивают сейсмостойкость здания после стандартного пожара. Особенностью конструктивного решения резинометаллических опор сейсмостойких зданий является совместная работа пластин из высокодеформирующейся резины и легированного металла [1].

Сейсмоизолирующие опоры - это конструкция, состоящая из чередующихся тонких слоёв резины и металла, собранных в пакет из нескольких слоёв, способный воспринимать



значительные вертикальные нагрузки и высокую гибкость в горизонтальном направлении (рис. 1).

Основные характеристики резинометаллической опоры, использованные в лабораторных и численных моделированиях: масса опоры - 120 кг; резиновые пластины высокого демпфирования, масса - 60 кг; прочность на растяжение в диапазоне от 2,5 до 3,5 МПа.

Для защиты резинометаллических опор используется теплоизоляционный огнезащитный материал. Техническое решение огнезащиты конструкций резинометаллических опор сейсмостойких зданий выполняется в виде системы покрытия на основе теплоизоляционного огнезащитного материала [4], с использованием универсального термостойкого клея, наносимого на поверхность резиновой оболочки.

Конструкция опоры представляет собой резинометаллические части, состоящие из стальных пластин, чередующихся со слоями резины, выполненные методом горячей вулканизации, с цилиндрическим свинцовым сердечником, как рекомендуется в [5].

Информационная BIM модель здания была сгенерирована в численной среде САПР Revit, затем преобразована в аналитическую модель (расчётная схема) путём экспорта в *Robot Structural Analysis* (рис. 2).

Сейсмическая нагрузка была смоделирована при помощи трёхкомпонентных акселерограмм со средними периодами колебаний в диапазоне  $t$  от 0,1 до 2 с.

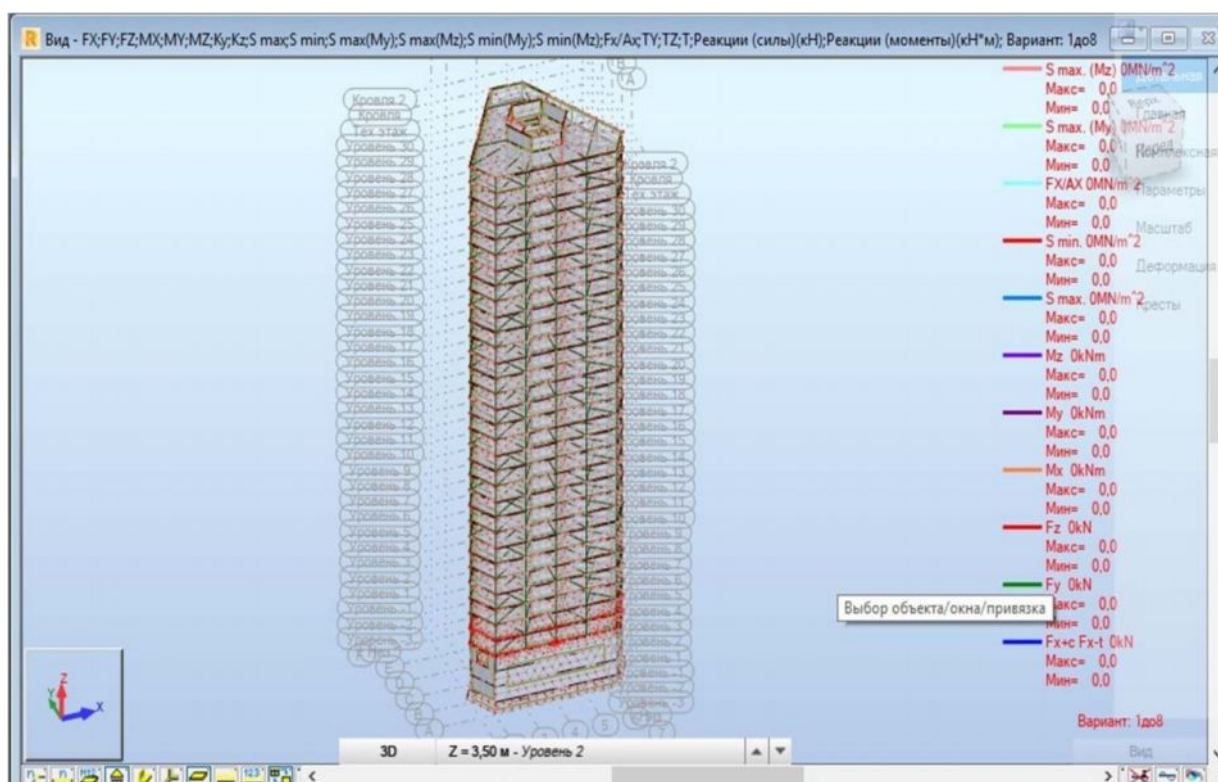


Рис. 2. Аналитическая модель здания

Гистерезисные параметры сейсмического изолятора могут быть визуализированы в виде однолинейного графика, с эффективной жёсткостью  $K_e$  и коэффициентом эквивалентного вязкого трения  $\xi_e$ , зависящих от максимального смещения  $d_2$  и соответствующей силы  $F_2$ , к которой они относятся.

Для расчёта сооружения и опорной части на воздействие реактивных откликов модуль сдвига резины, используемого для изготовления опорных частей, при температуре окружающей среды от  $+40^\circ$  до  $+2^\circ\text{C}$  в зависимости от типа жёсткости резины принимается



равным:

- тип I (мягкая):  $G = 0,7 \pm 0,1 \text{ Н/мм}^2$ ;
- тип II (средней жесткости):  $G = 0,9 \pm 0,15 \text{ Н/мм}^2$ ;
- тип III (жесткая):  $G = 1,15 \pm 0,2 \text{ Н/мм}^2$ .

При отрицательных температурах модуль сдвига принимается с повышающим коэффициентом 3 ( $G = 3G_0$ ).

Сила сопротивления свинцового сердечника сдвигу  $C_s$ , Н, определяется по формуле (1):

$$C_s = \sigma_{\text{рв}} \times A_c, \quad (1)$$

где:  $\sigma_{\text{рв}}$  – коэффициент сопротивления свинца сдвигу, принимается равным  $10,5 \text{ Н/мм}^2$ .

$A_c$  – площадь свинцового сердечника,  $\text{мм}^2$ .

Горизонтальная реакция сферической  $P_h$ , Н, опорной части имеет упругую и демпфирующую составляющие и определяется по формуле (2):

$$P_h = \frac{N \cdot H}{(H - r)^2} \cdot y + \mu \cdot N \cdot \text{sign}(\dot{y}), \quad (2)$$

где:  $N$  – вертикальная нагрузка на опору, Н,

$r$  – радиус поверхности сферического элемента, мм,

$y$  – смещение опорного сечения пролетного строения относительно опоры, мм,

$\mu$  – коэффициент трения в паре скольжения,

$H$  – расстояние между центрами окружностей, мм, описывающих поверхность скольжения с радиусом  $R$  и поверхность сферического элемента радиусом  $r$ .

Горизонтальная жесткость  $K_x$ , Н\*мм, определяется по формуле (3):

$$K_x = \frac{N \cdot H}{(H - r)^2}, \quad (3)$$

Период колебаний пролетного строения определяется по формуле (4):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(r - H)^2}{gH}}, \quad (4)$$

Где:  $g$  – ускорение свободного падения.

Период свободных колебаний с учетом демпфирования определяется по формуле (5):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(r - H)^2}{g \cdot H \left(1 - \frac{R}{y_{\text{max}}}\right)}}, \quad (5)$$

Резистентность к сейсмической энергии происходит посредством трения, возникающего при скольжении антифрикционных пластин и стальных листов относительно друг друга. Здесь, очевидно, для повышения коэффициента трения и, как следствие, повышения степени демпинга сейсмической энергии в конструкции изоляторов отсутствует смазка.



При численном моделировании изоляторов на действие усилий трения, возникающих в изоляторах между элементами скольжения от вертикальных компонентов нагрузений, коэффициенты трения принимаются в зависимости от напряжения  $\sigma$  и количества опорных частей  $n$ , воспринимающих усилия одного знака.

Значения коэффициентов трения принимаются:

- при  $n < 4$  – по таблице 1
- при  $n > 10$  – по таблице 2
- при  $4 < n < 10$  значения коэффициентов трения следует принимать по интерполяции.

Таблица 1 – Значения коэффициентов трения при  $n < 4$

Центральное давление в паре скольжения, Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициенты трения при температуре наиболее холодной пятидневки до минус 50 <sup>0</sup> С	
	$\mu_{\max}$	$\mu_{\min}$
10,0	0,064	0,00
20,0	0,046	0,00
30,0	0,035	0,00
45,0	0,027	0,00
60,0	0,021	0,00
90,0	0,020	0,00

Коэффициенты трения при промежуточных значениях центральных давлений определяются по интерполяции.

Таблица 2 – Значения коэффициентов трения при  $n > 10$

Центральное давление в паре скольжения, Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициенты трения при температуре наиболее холодной пятидневки до минус 50 <sup>0</sup> С	
	$\mu_{\max}$	$\mu_{\min}$
10,0	0,048	0,016
20,0	0,034	0,012
30,0	0,026	0,009
45,0	0,020	0,007
60,0	0,020	0,005
90,0	0,020	0,004

Коэффициенты трения при промежуточных значениях давления определяются по интерполяции. Для регионов с расчётной минимальной температурой не ниже минус 50<sup>0</sup> С допускается принимать значения коэффициентов трения с понижающим коэффициентом 0,67.

В случае, когда скорость относительного перемещения превышает заданную величину, включаются в работу в соответствии с функцией, обеспечивая работу всего сооружения в проектном режиме.

Основной характеристикой гасителей является реактивное усилие  $F$ , Н, развиваемое в них, которое определяется по формуле (7):

$$F = C \times V^{\alpha} \text{sign} (V) \quad (7)$$

где:  $C$  – константа, определяемая производителем ДУ;

$V$  – скорость перемещения штока, мм/с;

$\alpha$  – параметр демпфирования, характеризующий конструкцию демпфера и принимаемый по данным производителя, но не более 0,015.



Результаты численного моделирования позволили нам сделать вывод о том, что применение гистерезисных сейсмических изоляторов позволяют сократить вынужденные и свободные колебания зданий и сооружений и, соответственно, повысить их сейсмостойкость минимум на 1 балл.

### Список литературы

1. Смирнов В.И., Бубис А.А. Ломкин О.Б, Болковой А.Г., Гришин И А. Исследование пожарной опасности опытных образцов сейсмоизолирующих резинометаллических опор// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - 2009. -№4.- С.34-39.
2. Бегалиев У.Т. Расчет резинометаллической опоры на статическое воздействие. Строительная наука: проблемы и решения. – Бишкек: Илим, 2000. – С.4–8.
3. <http://tekhnosfera.com/issledovanie-seysmoizoliruemogo-zdaniya-s-primeneniem-zamenaemyh-rezinometallicheskih-seysmoizolyatorov>
4. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22935493>
5. <https://dvgups.ru/images/main/files/Nauka/Koordinacionnyy%20centr/%d1%81%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b8%d0%ba%d0%b8%20%d1%82%d1%80%d1%83%d0%b4%d0%be%d0%b2%202017/%d0%a1%d0%b1%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b8%d0%ba%20%d1%82%d1%80%d1%83%d0%b4%d0%be%d0%b2%20%d0%a2.%202,%2018-21%20%d0%b0%d0%bf%d1%80%d0%b5%d0%bb%d1%8f%202017.pdf#1>
6. <http://tekhnosfera.com/issledovanie-seysmoizoliruemogo-zdaniya-s-primeneniem-zamenaemyh-rezinometallicheskih-seysmoizolyatorov>