

July 2020

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЯ**

А Ювмитов

*Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева АН РУз,  
o.mirzakhmedov@polito.uz*

С Хакимов

*Наманганский инженерно-строительный институт*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/actattpu>

---

### **Recommended Citation**

Ювмитов, А and Хакимов, С (2020) "ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЯ," *Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent*. Vol. 10 : Iss. 2 , Article 14.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/actattpu/vol10/iss2/14>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

АСТА ТТРУ

III. ENGINEERING SCIENCE



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЯ

А.С. Ювмитов<sup>1</sup>, С.Р. Хакимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева АН РУз

<sup>2</sup>Наманганский инженерно-строительный институт

[anvar.sayfullaevich@mail.ru](mailto:anvar.sayfullaevich@mail.ru), [xakimov.sodiqjon@mail.ru](mailto:xakimov.sodiqjon@mail.ru)

### Аннотация.

В данной статье рассмотрен вопрос влияния сейсмоизоляции на динамические характеристики многоэтажного здания. В качестве примера исследовано пятиэтажное здание на жестко заделанном фундаменте и с учетом сейсмоизоляции в виде многослойной резинометаллической опоры. Получены численные результаты решением консольной расчетной схемы с помощью разработанной программы. Сопоставлены результаты расчетов перемещений сосредоточенных точек по высоте здания по результатам ускорения в виде затухающей синусоиды.

*Ключевые слова:* сейсмоизоляция, динамические характеристики, сухое трение, вязкоупругая модель, консольный стержень, ростверк, коэффициент вязкости, опора.

## STUDY OF THE SEISMIC ISOLATION INFLUENCE ON THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF BUILDING

A.S. Yuvmitov<sup>1</sup>, S.R. Hakimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures named after M.T. Urazbaev of the Academy of Sciences of Uzbekistan

<sup>2</sup>Namangan Engineering-Construction Institute

[anvar.sayfullaevich@mail.ru](mailto:anvar.sayfullaevich@mail.ru), [xakimov.sodiqjon@mail.ru](mailto:xakimov.sodiqjon@mail.ru)

### Abstract.

In this article was researched the task of the effect of seismic isolation on the dynamic characteristics of the multi-story building. As an example was studied five-story building on the rigidly fixed foundation and taking into account seismic isolation in the form of a laminated rubber bearing support. Numerical results are obtained by solving the console calculation scheme using by the developed program. The results of the calculations of the displacements of the concentrated points along the height of the building according to the results of acceleration in the form of the damped sinusoid are compared.

*Keywords:* seismic isolation, dynamic characteristics, dry friction, model, viscoelastic connection, cantilever rod, grillage, viscosity coefficient, support.

## БИНОНИНГ ДИНАМИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИГА СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯЛАРНИНГ ТАЪСИРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

А.С. Ювмитов<sup>1</sup>, С.Р. Хакимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЎзР ФА М.Т. Ўрозбоев номидаги Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти

<sup>2</sup>Наманган муҳандислик-қурилиш институти

[anvar.sayfullaevich@mail.ru](mailto:anvar.sayfullaevich@mail.ru), [xakimov.sodiqjon@mail.ru](mailto:xakimov.sodiqjon@mail.ru)

**Аннотация.**

Ушбу мақолада кўп қаватли бинонинг динамик кўрсаткичларига сейсмоизоляцияларнинг таъсири масаласи кўрилган. Мисол сифатида бикр маҳкамланган ва кўп қатламли резина-металл кўринишидаги сейсмоизоляция кўринишидаги таянчлар ўрнатилган беш қаватли бино тадқиқ қилинган. Ишлаб чиқилган дастур ёрдамида бинонинг консол ҳисоб схемасини ҳисоблаш орқали сонли натижалар олинган. Сўнувчи синусоида тезлашиш кўринишидаги ташқи таъсирлар олинган бўлиб, уларнинг таъсирида қаватлардаги тўпланган нукталар кўчишларининг сон қийматлари солиштирилган.

*Калит сўзлар: сейсмоизоляция, динамик кўрсаткичлар, қуруқ ишқаланиш, эластик - қоушқоқ модел, консол стержен, ростверк, қовушқоқлик коэффициентлари, таянч.*

В последние годы двадцатого столетия в странах мира бурное развитие получило введение дополнительных устройств в конструкциях зданий и сооружений, поглощающих действия сейсмических сил. Обычно их называют демпферами, поглотителями, гасителями, актуаторами, изоляциями и др. К ним можно отнести связи сухого и вязкого трения, трения гистерезисного типа, включающиеся и выключающиеся связи и др. [1]. Их можно отнести к конструктивным антисейсмическим мерам защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий. Динамический гаситель колебаний впервые изобретен в 1909 г. и связан с именем Фрама. Этот гаситель изобретен для гашения качки кораблей от волн [2]. Среди антисейсмических мер существенное место занимают различные гасители, демпферы и сейсмоизоляции. Они дают возможность регулировать динамические характеристики зданий и сооружений. Их конструкции можно подбирать в процессе проектирования сооружений.

В строительной практике развитых стран для гашения сейсмических колебаний широко применяются сейсмоизоляции в виде резинометаллических, скользящих и упругопластических опор, ротационного устройства в опоре, опоры с упругой связью и сухим трением, расположенных между фундаментом и ростверка зданий, показанных на рисунках 1-2. В результате экспериментального и теоретического исследований установлено, что эти устройства уменьшают сейсмические воздействия более два раза, чем построенных зданий без учета сейсмоизоляции. Такие опоры в строительной практике широко применяются для гашения сейсмических колебаний зданий, в частности в 9000 зданиях в Японии, в 5000 зданиях в Китае, а также в 700 зданиях в России и т.д.

В таких устройствах в качестве упругих элементов обычно используются стальные пружины, резиновые элементы, упругие стержни или пластины, а для рассеяния

энергии, материалы с повышенными диссипативными свойствами. Введение демпфирования позволило существенно расширить полосу частот эффективной работы гасителей колебаний. Для достижения эффекта применения сейсмоизоляции до проекта требуется тщательного подбора свойств устройств с учетом механических свойств изолированного здания, а также колебаний в различных частотах и интенсивности внешнего воздействия. В данной статье для исследования рассмотрено пятиэтажное кирпичное здание в комплексной конструкции в серии 77, построенного в 9 балльном регионе г.Ташкента. В расчетах рассмотрено здание с учетом и без учета сейсмоизоляции, работающей по вязкоупругой модели Кельвина-Фойгта [3].



**Рис.1. Резинометаллическая (а) и скользящая (б) опора**

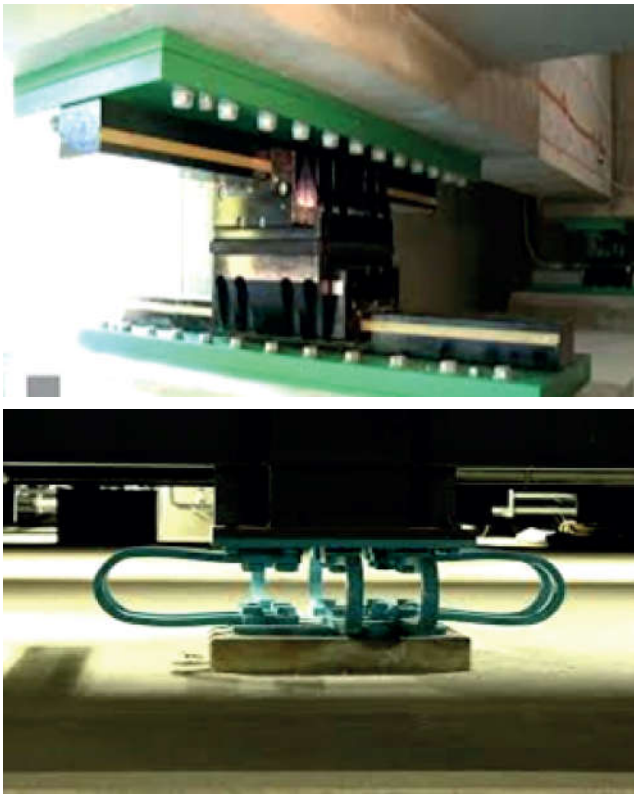


Рис.2. Опора с сухим трением (а) и упругой связью (б)

Известно, что при проектировании зданий и сооружений с учетом сейсмических воздействий основными параметрами являются их динамические характеристики [4]. В расчете для исследования динамических характеристик и эффекта гашения сейсмоизоляции составлена система уравнений колебаний на основе расчетной схемы в виде консольного упругого стержня со сосредоточенными массами на уровне этажах с жестко защемленным и сейсмоизоляцией с вязкоупругими свойствами, как показаны на рисунках 3-4.

На рисунках 5-6 показаны расчетные схемы пятиэтажного здания в плоскости с жестким защемлением и с изоляцией по вязкоупругой модели.

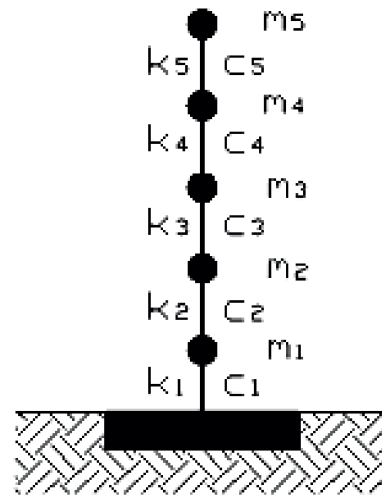


Рис.3. Консольная расчетная схема с жестко защемленной опорой

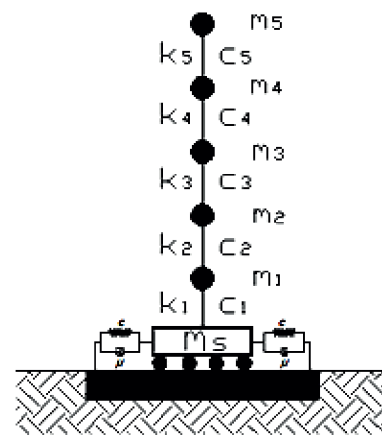


Рис.4. Консольная расчетная схема с сейсмоизоляцией по вязкоупругой модели

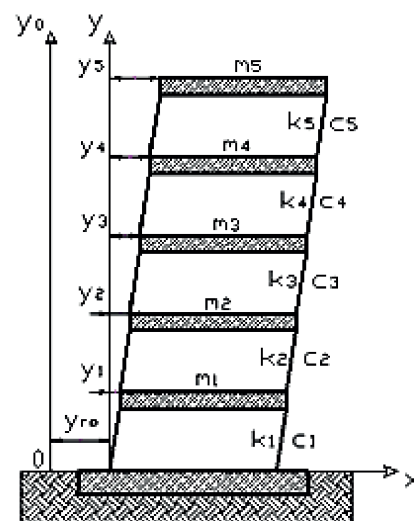


Рис.5. Расчетная схема здания с жестким защемлением с грунтом в плоскости

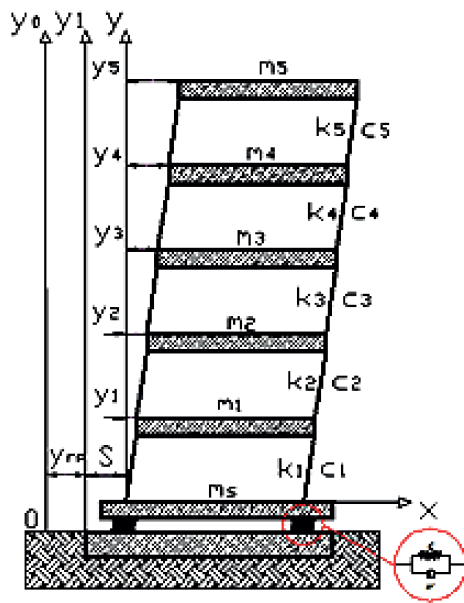


Рис.6. Расчетная схема здания с сейсмоизоляцией в плоскости

В исследованиях проведены численные расчеты по решению задачи вынужденных колебаний пространственных моделей зданий с учетом сейсмоизоляции при сейсмических воздействиях. Для решения задачи сначала были изучены влияния учета сейсмоизоляции на динамические характеристики здания по традиционной расчетной схеме, указанной на рисунках 3-4.

Система уравнений колебаний для пятиэтажного здания по расчетной схеме, указанной на рисунках 3 и 4 без учета и с учетом сейсмоизоляции, а также с учетом сейсмических воздействий имеет следующий вид [5]:

$$\begin{cases} m_n \ddot{y}_n + \mu_n \dot{y}_n + k_n (y_n - y_{n-1}) = -m_n (\ddot{y}_{gr} + \ddot{S}) \\ m_{n-1} \ddot{y}_{n-1} + \mu_{n-1} \dot{y}_{n-1} + k_{n-1} (y_{n-1} - y_{n-2}) - k_n (y_n - y_{n-1}) = -m_{n-1} (\ddot{y}_{gr} + \ddot{S}) \\ \dots \\ m_2 \ddot{y}_2 + \mu_2 \dot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) = -m_2 (\ddot{y}_{gr} + \ddot{S}) \\ m_1 \ddot{y}_1 + \mu_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) = -m_1 (\ddot{y}_{gr} + \ddot{S}) \\ M_{ob} \ddot{S} = -M_{ob} \ddot{y}_{gr} - \sum_{k=1}^3 F_{tr} - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{y}_i \end{cases} \quad (1)$$

где:  $k_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n-1, n$ ) – жесткости этажей на сдвиг;  $y_i$  – прогибы этажей;  $\dot{y}_i$  – скорости этажей;  $\ddot{y}_i$  – ускорения этажей;  $S$  – прогиб ростверка;  $\ddot{y}_{gr}$  – ускорения грунта основания;  $m_i$  – массы этажей;  $M_{ob}$  – сумма масс этажей и ростверка;  $m_s$  – массы ростверка;  $\mu_i$  – коэффициенты вязкости этажей.

В системе уравнений сумма силы трения состоит из трех видов трения, которые приведены в [6].

1). Выражение для опоры с упругопластическим свойством принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} & \text{при } |u| \leq u_{pr}, \\ & F_{tr1} = \begin{cases} k_g \cdot u \\ k_g \cdot u_{pr} \end{cases} \quad \text{при } |u| > u_{pr}; \text{sgn } \dot{u} = \text{const}. \end{aligned} \quad (2)$$

где:  $k_g = \text{tg} \alpha$  – жесткость опоры получается из графика в зависимости от значения предельной силы залипания

и смещения опоры, то есть  $k_g = \frac{F_{pr}}{u_{pr}}$ . В этом соотношении  $u$  – смещение ростверка, то есть опоры  $u = S$ ,  $u_{pr}$  –

предельное смещение опоры в упругой зоне.

2). Выражение для опоры с сухим трением принимает следующий вид:

$$F_{tr2} = \mu \cdot M_{ob} \cdot (g + \ddot{v}_r) \operatorname{sgn}(\dot{S}) \quad (3)$$

где:  $\mu$  - коэффициент сухого трения опоры,  $\ddot{v}_r$  - вертикальное составляющее ускорение основания,  $\dot{S}$  - скорость ростверка.

3). Выражение для опоры с вязким свойством принимает следующий вид:

$$F_{tr3} = c \cdot \dot{S} \quad (4)$$

где:  $c$  - коэффициент сопротивления сейсмоизоляции.

При решении системы уравнений (1) с учетом сил трения учитывается выражения силы упругости в следующем виде:

$$R = k_{sv} \cdot S \quad (5)$$

где: коэффициент  $k_{sv}$  коэффициент жесткости упругого элемента сейсмоизоляции,  $S$  - смещение ростверка.

Для численного решения системы уравнений (1) был составлен алгоритм и программы расчета на среде Borland Delphi 7 и решением системы получены численные результаты с учетом сейсмоизоляции по модели, указанной в (4) и (5).

Для дальнейших численных исследований здания с учетом сейсмоизоляции было выбрано пятиэтажное кирпичное здание серии 77, построенного в г.Ташкенте. Подсчитанные массы и жесткости существующего кирпичного здания серии 77 по проектным данным следующие:  $m_0=627150$ ;  $m_1=698000$ ;  $m_2=495000$ ;

$m_3=495000$ ;  $m_4=495000$ ;  $m_5=368000$  Н·с<sup>2</sup>/м;  $K_x=10,47 \cdot 10^9$ ;  $k_1=242,6 \cdot 10^8$ ;  $k_2=16,08 \cdot 10^8$ ;  $k_3=16,08 \cdot 10^8$ ;  $k_4=16,08 \cdot 10^8$ ;  $k_5=16,08 \cdot 10^8$  Н/м,  $\mu_1=124,3 \cdot 10^5$  Н·с/м,  $\mu_2=\mu_3=\mu_4=26,9 \cdot 10^5$  Н·с/м,  $\mu_5=23,24 \cdot 10^5$  Н·с/м.

При учете сейсмоизоляции параметры опоры были выбраны следующие:  $m_s=237800$  Н·с<sup>2</sup>/м;  $k_{sv}=108$  Н/м,  $\eta=0.5$  с.

где:  $\eta = \frac{\tilde{n}}{k_{sv}}$ , коэффициент вязкости опоры,  $c$  -

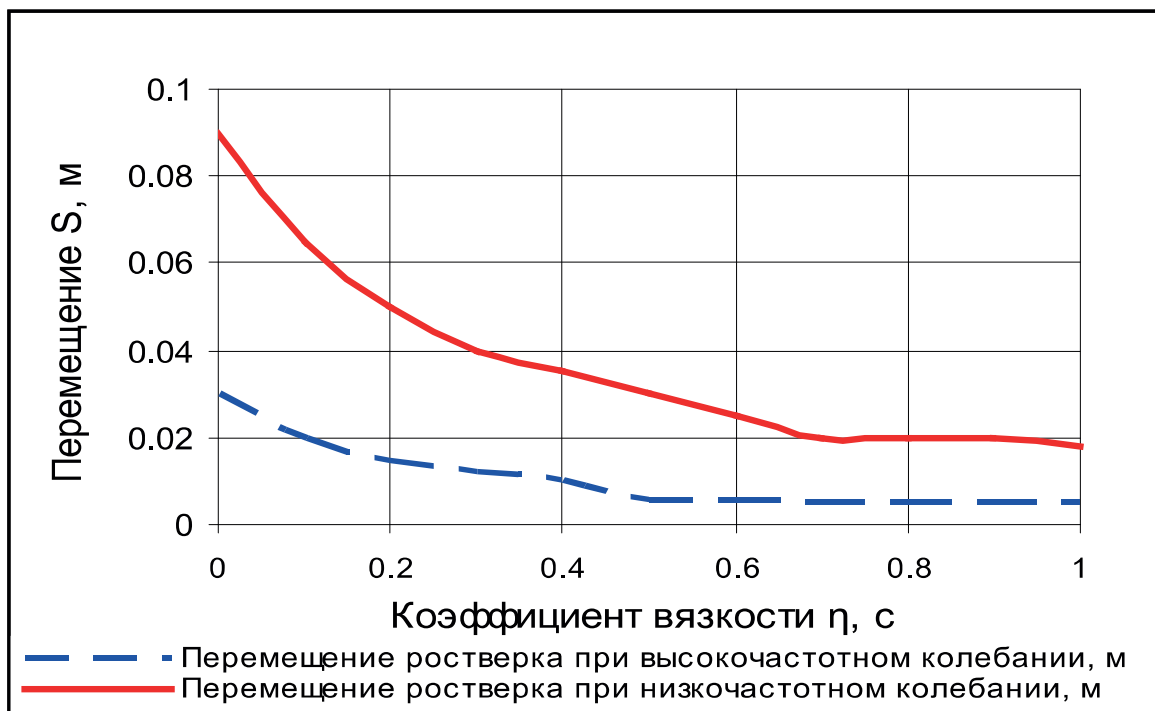
коэффициент сопротивления опоры,  $k_{sv}$  - коэффициент жесткости опоры.

Сейсмическое воздействие принято в виде затухающей синусоиды ускорения [7-8]

$$\ddot{y}_{gr}(t) = A e^{-\alpha t} \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (6)$$

где:  $A$  амплитуда ускорения грунта основания, в расчетах принята для интенсивности 9 баллов - 0,4g, 8 баллов - 0,2g и 7 баллов - 0,1g ( $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>),  $\alpha$  - затухание грунта, в расчетах принято значения  $\alpha=0.15$ ;  $T$  - период колебания грунта, в расчетах для низкочастотных колебаний принято значение  $T=0,5$  с, а для высокочастотных колебаний принято значение  $T=0,2$  с.

В результате многочисленных численных расчетов с постоянным значением коэффициента жесткости упругого элемента и с изменением в определенном диапазоне коэффициента вязкости вязкого элемента построен график зависимости между смещением ростверка и коэффициентом вязкости сейсмоизоляции (рис.7).



**Рис.7. Зависимость между смещением ростверка и коэффициентом вязкости сейсмоизоляции**

Сопоставление полученных результатов перемещений колебания этажей здания без учета и с учетом сейсмоизоляции приведены в таблице 1 и 2.

Интен-ность, в баллах	Ускор. грунта основ.	Смещ. грунта основ., в м	Закреп-е основ-я здания	Перемещение этажей, м					
				$S$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
9	0,4 g	0,024	жесткое	-	0,0006	0,008	0,014	0,018	0,02
			изоляция	0,022	0,0004	0,0055	0,009	0,012	0,013
8	0,2 g	0,012	жесткое	-	0,0003	0,0042	0,007	0,009	0,012
			изоляция	0,01	0,0002	0,0027	0,0045	0,006	0,0065
7	0,1 g	0,006	жесткое	-	0,00015	0,0021	0,0037	0,0045	0,005
			изоляция	0,0054	0,0001	0,0014	0,0025	0,003	0,0032

**Таблица 1 – Перемещение здания при низкочастотных сейсмических воздействиях**

Интен-ность, в баллах	Ускор. грунта основ.	Смещ. грунта основ., в м	Закреп-е основ-я здания	Перемещение этажей, м					
				$S$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
9	0,4 g	0,024	жесткое	-	0,00025	0,005	0,01	0,013	0,015
			изоляция	0,008	0,00018	0,0026	0,0046	0,0055	0,065
8	0,2 g	0,012	жесткое	-	0,00012	0,0025	0,0048	0,0065	0,0075
			изоляция	0,0042	0,00008	0,0013	0,0025	0,0031	0,0035
7	0,1 g	0,006	жесткое	-	0,00006	0,0013	0,0024	0,0032	0,0035
			изоляция	0,0022	0,00004	0,00065	0,0012	0,0016	0,0018

**Таблица 2 – Перемещение здания при высокочастотных сейсмических воздействиях**

Анализ полученных численных результатов показывает, что установка сейсмоизоляции в основании здания существенно влияет на характер его колебания при сейсмических воздействиях в зависимости от их частотного спектра. При низкочастотном колебании грунта сейсмоизоляция уменьшает сейсмическое воздействие до одного балла, а при высокочастотном воздействии уменьшает его в несколько раз по сравнению с жестким основанием.

По расчетным схемам при установке сейсмоизоляции, ростверк служит основанием для верхних этажей, а при жестком защемлении здания, фундамент с грунтом служат основанием и имеют одинаковое смещение. В расчетах эффект сейсмоизоляции был оценен при вязкоупругой модели контакта здания с грунтом и жестком основании в зависимости от изменения значений смещения грунтового основания по шкале сейсмической интенсивности колебания грунта при землетрясениях.

Изменение коэффициента вязкости от 0 до 1 при постоянном значении коэффициента жесткости  $k=10^8$  Н/м показал, что самое рациональное значение смещения ростверки здания со сейсмоизоляцией получилось при коэффициенте вязкости  $\eta=0.5$  по сравнению остальных значений.

## Литература

1. Zach Liang, George C. Lee, Gary F. Dargush, and Jianwei Song. Structural Damping: Applications in Seismic Response Modification. CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an inform a business. 2012 by Taylor & Francis Group. Pp. 577.
2. Алексеев А.М., Сбровский А.К. Судовые виброгасители. – Ленинград: Судпромгиз, 1962. – 196 с.
3. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1968. – С.418.
4. Рассказовский В.Т. Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений. – Ташкент, 1984. –244 с.
5. G.H.Khojmetov, A.I.Khodjimetov, A.S. Yuvmitov. Influence of Soil-foundation Interaction Properties on Oscillations of the System “Building-Building” and “Building- Stack-Like Structure. “World journal of mechanics”. 2015, Volume 5, Published Online June 2015 in Scientific Research Publishing. USA. 106-116 pp.
6. Т.Р. Рашидов, У.Ш. Шамсиев, Р.Н. Мушеев, А.З. Бовшовер. Сейсмодинамика пространственных систем. – Ташкент, 1991. Изд. «Фан». – С.110-120.
7. Напетваридзе Ш.Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. – М.: Госстройиздат, 1959. – 216 с.
8. КМК 2.01.03-96. «Строительство в сейсмических районах». Госкомархитектстрой Руз. – Ташкент, 1996. – 88 с.