

# Полиуретановый эластомер как упругий материал в сейсмозащите зданий и сооружений

Э. А. Галиханова<sup>1</sup>, Л. Н. Бакаева<sup>2</sup>, А. В. Дернакова<sup>3</sup>, Ю. А. Яруничева<sup>4</sup>.

<sup>1-4</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье      Научная статья

## Аннотация

*Статья посвящена вопросу надежной и экономичной сейсмозащиты зданий и сооружений. Из всех существующих вариантов выбран один наиболее распространённый вид точечных опор, который представляет собой слоистые конструкции попеременно уложенных листов упругого элемента и металла. За упругий материал, как обладающим наилучшими механическими характеристиками, выбран полиуретановый эластомер. С помощью сервогидравлической системы для статических и динамических испытаний Instron 8801 были проведены опыты на осевое сжатие для сравнения механических характеристик пяти различных марок полиуретанов: L167, V8000+7561+BDO, 15s27, LF751D+L167+Мокко, LF751+L167+Мокко при разных температурных условиях. Составлена сравнительная таблица изменения модуля упругости при температуре близкой к комнатной и повышенной температуре. Построены графики петли гистерезиса для каждой марки полиуретанов.*

Ключевые слова:                      строительство, сейсмозащита, эластомеры, эластомерные опоры, амортизаторы, энергоёмкость, антисейсмическое устройство, полиуретаны

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| 1. Введение                              | 8  |
| 2. Обзор литературы                      | 8  |
| 3. Постановка цели и задачи исследования | 9  |
| 4. Описание исследования                 | 9  |
| 5. Заключение                            | 11 |

---

### Контактный автор:

1. +79050044199, elinlvs.g@gmail.com (Галиханова Элина Азатовна, студент)
2. +79052765134, ubashka150994@mail.ru (Бакаева Любовь Николаевна Л. Н., студент)
3. +7(911)7749023, sasha231296@mail.ru (Дернакова Александра Вячеславовна, студент)
4. +7(911)2314977, julija.jarunicheva@gmail.com (Яруничева Юлия Алексеевна, студент)

## 1. Введение

Ежегодно на планете происходит множество землетрясений и, как показывает практика, многие здания не выдерживают полученной нагрузки [1]. Вопрос о совершенствовании сейсмической стойкости зданий, поиск рациональных, надежных и экономичных методов защиты на сегодняшний день продолжает быть актуальным.

При строительстве зданий и сооружений на площадках сейсмичностью выше 7 баллов необходимо, руководствуясь требованиями СП 14.13330.2014, вести расчет здания на сейсмостойкость. Так как вследствие увеличения прочности здания, а значит и массы, увеличивается и его инерционная нагрузка, то более рациональным путем является использование различных средств сейсмозащиты.

Одно из направлений сейсмоизоляции, получившее особое распространение в США, Англии, Франции и также Новой Зеландии, стало использование резинометаллических опор, устанавливаемых между фундаментом и несущими конструкциями здания [2]. В первое время такие опоры применялись в строительстве сейсмостойких опор мостов, и в дальнейшем уже более усовершенствованные опоры начали применяться в сейсмозащите зданий. К примеру, французские опоры системы GAPEC (рис.1) представляют собой слоистую конструкцию, которая состоит из чередующихся стальных листов и неопрена. В горизонтальной плоскости опоры обладают жесткостью примерно в 100 раз меньшей, чем в вертикальной, чтобы обеспечить возможность упругого бокового перемещения [3].

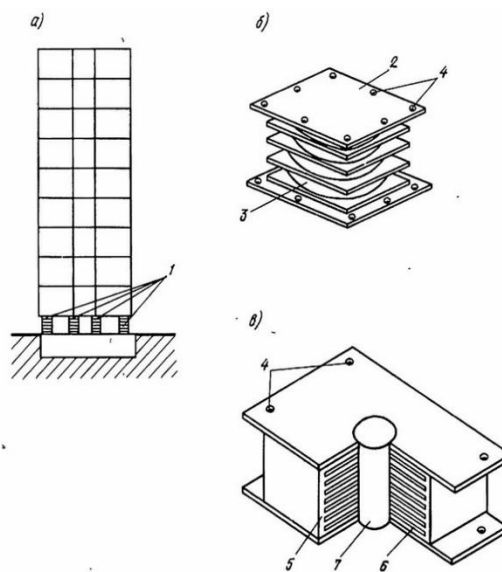


Рис. 1. Сейсмоизоляция здания с помощью резинометаллических опор [3]:

а – схема установки опоры; б – схема конструкции опоры GAPEC; в – схема конструкции опоры, разработанной в Новой Зеландии; 1 – опора; 2 – стальная плита; 3 – слой неопрена; 4 – отверстия для анкерных болтов; 5 – резина; 6 – сталь; 7 – свинец

## 2. Обзор литературы

На сегодняшний день такой вид опор используется с эластомером в качестве упругого материала.

В научных работах [4-8] широко исследовались свойства резинометаллических опор.

Эластомерная опора со свинцовым сердечником обладает следующими преимуществами:

1. Высокая вертикальная жёсткость за счёт свинцового сердечника;
2. Высокая горизонтальная жёсткость при слабых горизонтальных нагрузках (ветровая нагрузка, землетрясение малой интенсивности);
3. Низкая горизонтальная жёсткость при сильных горизонтальных нагрузках;
4. Высокая способность к диссипации энергии ( $\xi$ , в % от критического: 15-35%) [9].

Из всех эластомерных опор наибольшее распространение получили именно опоры со свинцовыми сердечниками.

Немаловажную роль играет выбор материала для упругих элементов с наибольшей энергоемкостью. Один из наиболее подходящих материалов для такой опоры является полиуретановый эластомер. Полиуретановые эластомеры характеризуются высокими значениями прочности и сопротивления раздиру, износостойкостью [10-12]. От других эластомеров они отличаются:

1. исключительной стойкостью к истиранию, во много раз больше, чем у резины и низкоуглеродистых сплавов;
2. прочностью на растяжение и сопротивлением надрыва;
3. хорошим гашением вибраций;
4. устойчивостью к воздействию атмосферных факторов.

Статьи [13-20] освещают современные средства сейсмозащиты и сейсмоизоляции. По характеристикам ожидаемого сейсмического воздействия на конкретной площадке строительства, а также по конструктивному решению здания и эксплуатационным требованиям, выдвигаемым к нему, можно выбрать тот или иной вид опоры с подходящими характеристиками материалов.

### 3. Постановка цели и задачи исследования

Так как существуют и продолжают появляться новые марки полиуретанов, целью данной работы стало изучение их поведения в различных климатических условиях, то есть исследовать влияние температуры на прочностные характеристики полиуретанов.

### 4. Описание исследования

Был проведен опыт с целью сравнения поведения полиуретанов при осевом сжатии при температуре близкой к комнатной ( $t=15^{\circ}\text{C}$ ) и повышенной температуре ( $t=60^{\circ}\text{C}$ ) в зависимости от состава материалов. Испытывалось 5 марок полиуретанов. Образцы представляли собой цилиндры с размерами  $d = 40$  мм;  $h = 40$  мм.



Рис.2. Справа образец сразу после 30% деформации, слева - образец в естественном состоянии.

При испытаниях записывались диаграммы сжатия, по которым затем определялись механические характеристики, в первую очередь, нормальный модуль упругости при сжатии  $E_c$  [8]. Определение  $E_c$  выполнялось по формуле:

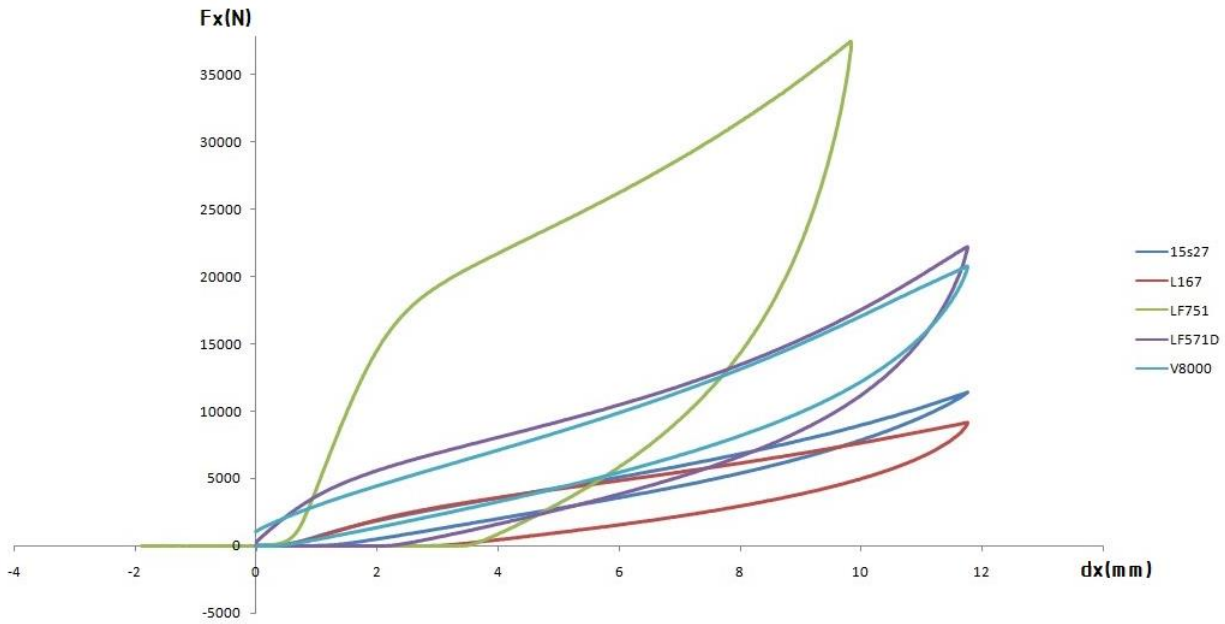
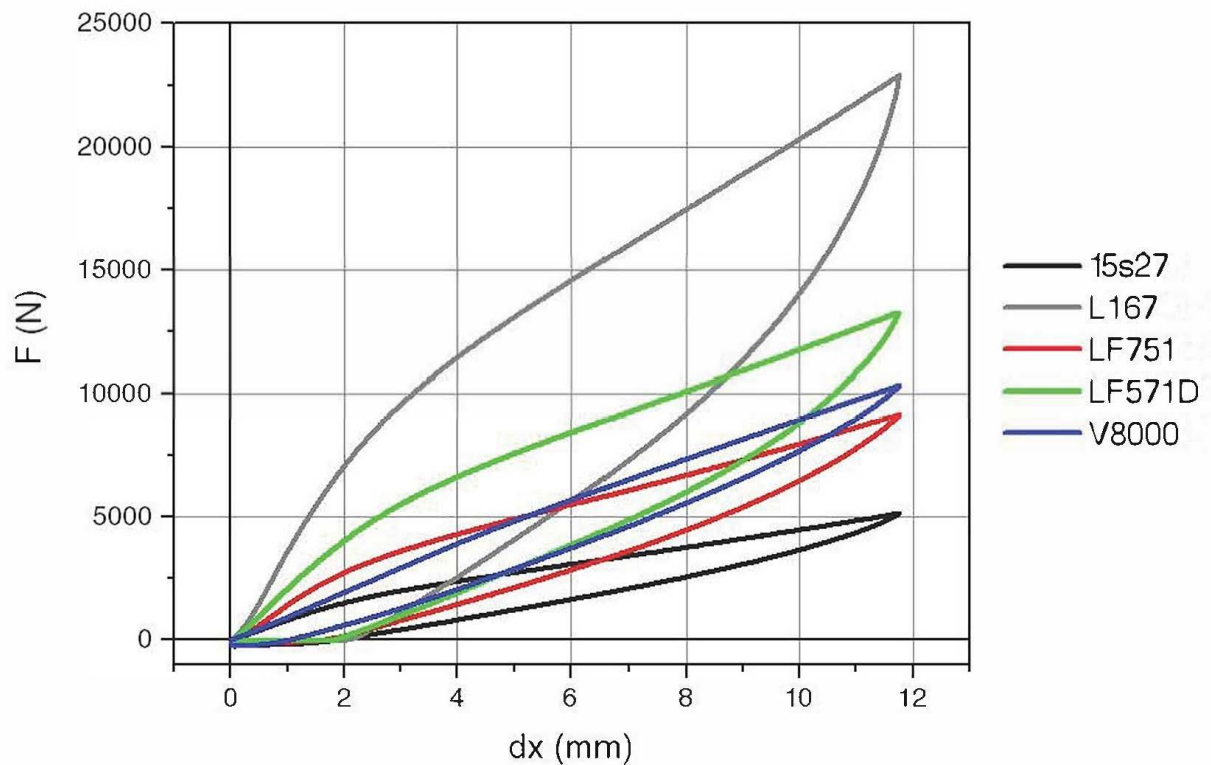
$$E = \frac{N \cdot h}{\Delta h' \cdot F}$$

где  $N_c$  – нагрузка, соответствующая относительной деформации  $\varepsilon = 0,2$ , что составляет в абсолютных величинах  $\Delta h = 8$  мм;

$\Delta h'$  – абсолютная деформация образца, равная  $\Delta h' = \Delta h - \Delta h_m$

$\Delta h_m$  – деформация испытательной машины при нагрузке  $N$ .

Результаты сжатия и релаксации образцов представлены на рис. 3 и 4

Рис.3. - Диаграммы сжатия образцов при  $t=15^{\circ}\text{C}$ Рис.4. - Диаграммы сжатия образцов при температуре  $t=60^{\circ}\text{C}$ 

При релаксации образцы постепенно самостоятельно возвращаются в первоначальное состояние. При попытке проведения испытаний при большей деформации (90%) образец в большинстве случаев, не разрушался, на максимальной нагрузке оборудования образец практически прекращал деформацию.

Далее представлены результаты вычисления модулей упругости (таблица 1).

Таблица 1

| Марка полиуретана | Модуль упругости при комнатной температуре, кН/м <sup>2</sup> | Модуль упругости при повышенной температуре, кН/м <sup>2</sup> |
|-------------------|---|--|
| 15s27             | 33695,9   | 25363,4  |
| L167              | 26487,9   | 14343,8  |
| LF751+L167+Mokko  | 105357,5  | 63738,7  |
| LF751D+L167+Mokko | 62342,4   | 36990,3  |
| V8000+7561+BDO    | 56205,7   | 28733,3  |

В результате расчета уменьшение модулей упругости опытных образцов составило:

- у марки 15s27-24,7%;
- L167-45,8%;
- LF751+L167+Mokko-39,5%;
- LF751D+L167+Mokko- 40,7%;
- V8000+7561+BDO- 48, 9%.

## 5. Заключение

На основании полученных результатов можно сравнить механические свойства нескольких марок полиуретанов при различных температурных условиях при осевом сжатии и релаксации. Не смотря на отличные свойства полиуретановых эластомеров, такие как- высокая прочность, стойкость к ударным нагрузкам, износостойкость, прочностные свойства материала изменяются при работе в зоне повышенных температур. Самой устойчивой к потере упругости в зависимости от увеличения температуры оказалась марка полиуретанового эластомера 15s27, самой неустойчивой- марка V8000+7561+BDO.

Возрастание модуля упругости при увеличении скорости нагружения имеет экспоненциальный характер; это позволяет ввести для эластомеров новую механическую характеристику – динамический модуль упругости, который больше статического.

Также, в результате проведенного исследования, были подтверждены высокие прочностные свойства полиуретанов. Материал находится в зоне упругих деформаций даже при максимальной нагрузке гидравлической установки Instron 8801. Это позволяет рекомендовать полиуретановые эластомеры как надежное средство сейсмоизоляции зданий.

На основе полученных опытов можно продолжить изучение характеристик данных марок полиуретанов при циклическом воздействии в различных температурных условиях.

### Литература

- [1]. Тарасов В.А., Барановский М.Ю. , Редькин А.В. , Соколов Е.А. , Степанов А.С.. Системы сейсмоизоляции// Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 4 (43). 2016. 117-140.
- [2]. Ковалева Н.В.Определение оптимальных параметров демпфирования в системах сейсмоизоляции//Инженерно-строительный журнал.2013.№5(40).с.107-115
- [3]. Чигринская Л.С Сейсмостойкость зданий и сооружений. Учебное пособие. Ангарская государственная техническая академия. – Ангарск: Изд-воАГТА,2009.–107.[Электронный ресурс]: <http://www.studfiles.ru/preview/5284061>. (дата обращения: 25.01.2018).

### References

- [1]. Tarasov V.A., Baranovskiy M.Yu. , Redkin A.V. , Sokolov Ye.A. , Stepanov A.S.. Sistemy seysmoizolyatsii// Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. ISSN 2304-6295. 4 (43). 2016. 117-140.
- [2]. Kovaleva N.V.Opredeleniye optimalnykh parametrov dempfirovaniya v sistemakh seysmoizolyatsii//Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal.2013.№5(40).s.107-115
- [3]. Chigrinskaya L.S Seysmostoykost zdaniy i sooruzheniy. Uchebnoye posobiye. Angarskaya gosudarstvennaya tekhnicheskaya akademiya. – Angarsk: Izd-voAGTA,2009.–107.[Elektronnyy resurs]: <http://www.studfiles.ru/preview/5284061>. (data obrashcheniya: 25.01.2018).



- [4]. Lysmer J., Waas G. Shear Waves in Plane Infinite Structures // Journ. Engng. Mech. Div., ASCE. 1972. Vol.98, No EMI. P. 85-105.
- [5]. Firas M.F. Al-Quran, M.E. Matarneh, V.G. Artiukh. Choice of Elastomeric Material for Buffer Devices of Metallurgical Equipment (2012) Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, No.4(11), pp. 1585–1589.
- [6]. V.G. Artiukh, S.Yu. Karlushin, E.N. Sorochan. Peculiarities of Mechanical Characteristics of Contemporary Polyurethane Elastomers (2015) Procedia Engineering, No.117, pp. 938–944. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.180
- [7]. V. Artiukh, A. Nikitchenko, I. Ignatovich, L. Prykina. The prospects of creation of the draft gear with the polyurethane resin elastic element for the rolling stock. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 90 (2017) 012191. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012191
- [8]. Артюх В.Г. Основы защиты металлургических машин от поломок: Монография / В.Г. Артюх.- Мариуполь, Издат. группа «Университет», 2015.- 288с. :
- [9]. V. Artiukh, T. Raimberdiyev, V. Mazur. Use of CAE-Systems at Evaluation of Shock Absorbers for Metallurgical Equipment (2016) MATEC Web of Conferences, V.53, 01039.
- [10]. Каррыев, Б. Вот пришло землетрясение// Издательские решения, 2017. —880 стр.
- [11]. Егармин К.А. Анализ работы рамных узлов одноэтажного стального каркаса в условиях высокой сейсмичности с использованием ПК «SCAD» / К.А. Егармин, Г.Ю. Сысоев, Н.И. Ватин, М.В. Врублевская // Строительство уникальных зданий и сооружений. –2015. –№ 2. – С. 34-44
- [12]. Арутюнян, А.Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений / А.Р. Арутюнян // Инженерно-строительный журнал. – 2010. –№ 3. – С. 56-60
- [13]. Морозова Е.В. Обеспечение сейсмостойкости надстраиваемых зданий/Е.В. Морозова//Украинский институт стальных конструкций.–2012. –№10. –с. 220-228
- [14]. Бакаева Л.Н. Защита зданий и сооружений от сейсмического воздействия/Л.Н. Бакаева, К.А. Егармин/Синергия науки.–2017.– №7. –с. 225-233
- [15]. Андреев В.И. Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия с учетом нелинейных эффектов/В.И. Андреев, Г.А. Джинчвелашвили, А.В.Колесников/Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.–2012.– №7. –с. 33-35
- [16]. Пеньковский Г.Ф. Сейсмоизоляция зданий с динамическим гасителем колебаний/Г.Ф.Пеньковский, В.В. Севастьянов/Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.–2013.– №3(3). –с. 77-80
- [17]. Кулдай Д.А. Оценка сейсмического воздействия на здание с сейсмоизоляцией/Д.А. Кулдай/Строительство и техногенная безопасность.–2016.– №3(55). –с. 24-27
- [18]. Минченкова А.О. К сейсмоизоляции многоэтажного здания комбинацией резинометаллических опор и односторонних
- [4]. Lysmer J., Waas G. Shear Waves in Plane Infinite Structures // Journ. Engng. Mech. Div., ASCE. 1972. Vol.98, No EMI. P. 85-105.
- [5]. Firas M.F. Al-Quran, M.E. Matarneh, V.G. Artiukh. Choice of Elastomeric Material for Buffer Devices of Metallurgical Equipment (2012) Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, No.4(11), pp. 1585–1589.
- [6]. V.G. Artiukh, S.Yu. Karlushin, E.N. Sorochan. Peculiarities of Mechanical Characteristics of Contemporary Polyurethane Elastomers (2015) Procedia Engineering, No.117, pp. 938–944. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.180
- [7]. V. Artiukh, A. Nikitchenko, I. Ignatovich, L. Prykina. The prospects of creation of the draft gear with the polyurethane resin elastic element for the rolling stock. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 90 (2017) 012191. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012191
- [8]. Artyukh V.G. Osnovy zashchity metallurgicheskikh mashin ot polomok: Monografiya / V.G. Artyukh.- Mariupol, Izdat. gruppy «Universitet», 2015.- 288s. :
- [9]. V. Artiukh, T. Raimberdiyev, V. Mazur. Use of CAE-Systems at Evaluation of Shock Absorbers for Metallurgical Equipment (2016) MATEC Web of Conferences, V.53, 01039.
- [10]. Karryyev, B. Vot prishlo zemletryaseniye// Izdatelstkiye resheniya, 2017. —880 str.
- [11]. Yegarmin K.A. Analiz raboty ramnykh uzlov odnoetazhnogo stalnogo karkasa v usloviyakh vysokoy seysmiki s ispolzovaniyem PK «SCAD» / K.A. Yegarmin, G.Yu. Sysoyev, N.I. Vatin, M.V. Vrublevskaya // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. –2015. –№ 2. – S. 34-44
- [12]. Arutyunyan, A.R. Sovremennyye metody seysmoizolyatsii zdaniy i sooruzheniy / A.R. Arutyunyan // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. –2010. – № 3. – S. 56-60
- [13]. Morozova Ye.V. Obespecheniye seysmostoykosti nadstravayemykh zdaniy/Ye.V. Morozova//Ukrainskiy institut stalnykh konstruksiy.–2012. –№10. –s. 220-228
- [14]. Bakayeva L.N. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot seysmicheskogo vozdeystviya/L.N. Bakayeva, K.A. Yegarmin/Sinerhiya nauki.–2017.– №7. –s. 225-233
- [15]. Andreyev V.I. Raschet zdaniy i sooruzheniy na seysmicheskiye vozdeystviya s uchetom nelineynykh effektov/V.I. Andreyev, G.A. Dzhinchvelashvili, A.V.Kolesnikov/Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka.–2012.– №7. –s. 33-35
- [16]. Penkovskiy G.F. Seysmoizolyatsiya zdaniy s dinamicheskim gasitelem kolebaniy/G.F.Penkovskiy, V.V. Sevastyanov/ Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy.–2013.– №3(3). –s. 77-80
- [17]. Kuldai D.A. Otsenka seysmicheskogo vozdeystviya na zdaniye s seysmoizolyatsiyey/D.A. Kuldai/Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost.– 2016.– №3(55). –s. 24-27
- [18]. Minchenkova A.O. K seysmoizolyatsii mnogoetazhnogo zdaniya kombinatsiyey rezinometallicheskiykh opor i odnostoronnikh

связей/А.О. Минченкова, А.Д. Ловцов/ Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ.–2017.– №3. –с. 289-293

[19]. Мажиев Х.Н. Материалы и конструкции для повышения сейсмостойкости зданий и сооружений: дис. док. тех. наук: 05.23.01-М., 2011 г. -555 с.

[20]. Арутюнян, А.Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений / А.Р. Арутюнян // Инженерно-строительный журнал. – 2010. –№ 3. – С. 56-60

svyazey/A.O. Minchenkova, A.D. Lovtsov/ Novyye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoy nachnoy konferentsii FAD TOGU.–2017.– №3. –с. 289-293

[19]. Mazhiyev Kh.N. Materialy i konstruktsii dlya povysheniya seysmostoykosti zdaniy i sooruzheniy: dis. dok. tekhn. nauk: 05.23.01-M., 2011 g. -555 s.

[20]. Arutyunyan, A.R. Sovremennyye metody seysmoizolyatsii zdaniy i sooruzheniy / A.R. Arutyunyan // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. –2010. – № 3. – С. 56-60

**Галиханова, Э. А., Бакаева, Л. Н., Дернакова, А. В., Яруничева, Ю. А. Полиуретановый эластомер как упругий материал в сейсмозащите зданий и сооружений // Alfabuild. 2019. № 5. С. 7-14.**

**Galikhanova, Elina, Bakaeva, Liubov, Dernakova, Aleksandra, Yarunicheva, Yuliya, Ошибка! Неизвестное имя свойства документа. Polyurethane elastomer as an elastic material in seismic protection of buildings and structures. Alfabuild. 2019. 5. Pp. 7-14. (rus)**

# Polyurethane elastomer as an elastic material in seismic protection of buildings and structures

Elina Galikhanova<sup>1</sup>, Liubov Bakaeva<sup>2</sup>, Aleksandra Dernakova<sup>3</sup>, Yuliya Yarunicheva<sup>4</sup>.

<sup>1-4</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

scientific article

## Abstract

*The article is devoted to the issue of reliable and economical seismic protection of buildings and structures. Of all the existing options, one most common type of point supports is chosen, which is a layered structure of alternately laid sheets of the elastic element and the metal. For elastic material, as having the best mechanical characteristics, a polyurethane elastomer is chosen. With the help of the servo-hydraulic system for static and dynamic tests Instron 8801, experiments were performed on axial compression to compare the mechanical characteristics of five different grades of polyurethanes: L167, V8000 + 7561 + BDO, 15s27, LF751D + L167 + Mokko, LF751 + L167 + Mokko at different temperature conditions. A comparative table is made of the modulus of elasticity change at a temperature close to room temperature and elevated temperature. The graphs of the hysteresis loop for each brand of polyurethanes are constructed*

Keywords:

construction, seismic protection, elastomers, elastomeric bearings, energy intensity, shock absorbers, anti-seismic device, polyurethanes

---

<sup>1</sup> Corresponding author

1. +79050044199, elinlvs.g@gmail.com (Galikhanova Elina, undergraduate)
2. +79052765134, ubashka150994@mail.ru (Bakaeva Liubov, undergraduate)
3. +7(911)7749023, sasha231296@mail.ru (Dernakova Aleksandra, undergraduate)
4. +7(911)2314977, julija.jarunicheva@gmail.com (Yarunicheva Yuliya, undergraduate)