



УДК 691

**Разработка терморасширяющегося материала на основе каучуков
для вязкоупругого демпфера, обеспечивающего снижение риска
аварий и катастроф от землетрясений**

*Юркин Ю. В., канд. техн. наук, доцент; Рогожкин Р. С.; Варанкина Д. А.
Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36*

Аннотация. Землетрясения могут нанести значительный физический ущерб зданиям и инфраструктуре, что может серьезно повлиять на экономику. Для минимизации потерь разрабатываются различные методы защиты зданий. Разработки новых способов защиты зданий и сооружений от землетрясений становятся все более актуальными в свете роста числа катаклизмов во всем мире. В данной работе рассматриваются примеры перспективного и экономически целесообразного метода – использование систем пассивного рассеивания энергии с помощью гистерезисных и вязкоупругих демпферов. Первые включаются в работу только при сильных толчках землетрясений, вторые работают только при слабых толчках. В исследовании для более эффективного гашения вибраций предлагается объединить гистерезисные и вязкоупругие устройства для создания нового вида сейсмического демпфера, способного гасить колебания земли любой магнитуды. Целью работы является разработка терморасширяющегося вязкоупругого материала, предназначенного для размещения в полости между труб существующего гистерезисного демпфера. Описывается разработка материала с определенными динамическими механическими характеристиками, которыми он должен обладать для эффективного гашения вибраций. В процессе исследования определено влияние компонентов и проведена оптимизация полученного состава. Разработанные образцы подвергались прерывистым циклическим испытаниям и исследованиям на механическое растяжение. В результате работы разработан прототип терморасширяющегося вязкоупругого материала с требуемыми динамическими механическими характеристиками, такими, как тангенс угла механических потерь, максимальная деформативность при разрыве и модуль сдвига при 100 % деформации. Уникальной особенностью материала является его способность терморасширяться. Доказана возможность создания гистерезисно-вязкоупругого демпфера данным методом в результате проведения испытаний материала в составе гистерезисного устройства.

Ключевые слова: землетрясение, вязкоупругий материал, терморасширение, сейсмическая безопасность, демпфер, пассивное рассеивание энергии, каучук, резиновая смесь, полимер, вибрация, гистерезис.



Development of a thermally expanding rubber-based material for a viscoelastic damper that reduces the risk of accidents and catastrophes from earthquakes

*Yurkin Y. V., Rogozhkin R. S., Varankina D. A.
Vyatka State University*

Annotation. Earthquakes can cause significant physical damage to buildings and infrastructure, which can severely impact the economy. To minimize losses, various methods of protecting buildings are being developed. The development of new ways to protect buildings and structures from earthquakes is becoming increasingly relevant in light of the growing number of disasters around the world. This paper discusses examples of a promising and economically feasible method as the use of passive energy dissipation systems using hysteresis and viscoelastic dampers. The former is activated only during strong earthquake shocks, the latter operate only during weak shocks. To more effectively dampen vibrations, the study proposes combining hysteresis and viscoelastic devices to create a new type of seismic damper capable of damping ground vibrations of any magnitude. The goal of the work is to develop a thermally expanding viscoelastic material intended for placement in the cavity between the pipes of an existing hysteresis damper. The development of a material with certain dynamic mechanical characteristics that it must possess for effective vibration damping is described. During the research, the influence of the components was determined and the resulting composition was optimized. The developed samples were subjected to intermittent cyclic tests and mechanical tensile tests. As a result of the work, a prototype of a thermally expanding viscoelastic material with the required dynamic mechanical characteristics, such as mechanical loss tangent, maximum strain at break and shear modulus at 100 % deformation, was developed. A unique feature of the material is its ability to expand thermally. The possibility of creating a hysteresis-viscoelastic damper using this method has been proven as a result of testing the material as part of a hysteresis device.

Keywords: earthquake, viscoelastic material, thermal expansion, seismic safety, damper, passive energy dissipation, rubber, rubber compound, polymer, vibration, hysteresis.

Введение. На Земле существует множество различных природных катастроф [1]. Одними из наиболее опасных и разрушительных стихийных бедствий являются землетрясения [2]. Почти 20 % территории России сейсмически опасны, из них 5 % подвержены чрезвычайно опасным землетрясениям [3]. В 2019 году Global Disaster Risk Reduction оценивало, что в среднем ежегодный мировой ущерб от землетрясений составляет около 150 миллиардов долларов США, из которых значительную часть образует физический ущерб зданиям и инфраструктуре: Землетрясения могут вызывать разрушение и повреждение зданий, мостов, дорог, газопроводов, электросетей и другой инфраструктуры. Физический ущерб может сильно повлиять на экономику, особенно если затронуты промышленные комплексы или ключевые объекты. Помимо совершенствования теоретических основ и методов прогнозирования [4], в целях минимизации смертей и снижения финансовых потерь разрабатываются различные методы защиты зданий и сооружений при землетрясениях [5; 6].



Наиболее перспективными и экономически целесообразными методами являются системы пассивного рассеивания энергии [7; 8]. Распространенными типами сейсмических амортизаторов являются гистерезисные [9; 10] и вязкоупругие [11] демпферы. Первые включаются в работу только при сильных толчках землетрясений, вторые работают только при слабых толчках. Сочетание этих видов демпферов позволит более эффективно гасить сейсмические нагрузки и защищать здание от разрушения при землетрясениях любой магнитуды. Решение – размещение вязкоупругого материала в полости между трубами гистерезисного демпфера, разработанного в Мадридском политехническом университете (рис. 1).

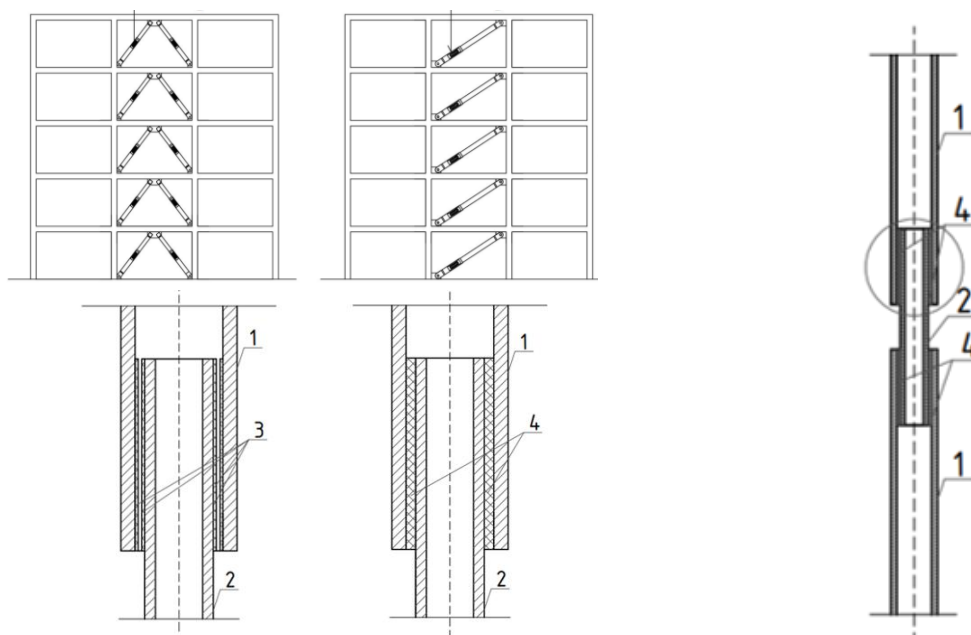


Рис. 1. Схема гистерезисно-вязкоупругого демпфера:
1 – внешняя труба; 2 – внутренняя труба; 3 – материал до расширения;
4 – материал после расширения

Целью работы является разработка терморасширяющегося вязкоупругого материала, обладающего следующими динамическими механическими характеристиками:

- тангенс угла механических потерь ($\operatorname{tg}\delta$) не ниже 0,2 у.е.;
- максимальная деформативность при сдвиге не менее 120 %;
- модуль сдвига при 100 % деформации (G_{100}) не ниже 0,1 МПа;
- терморасширение в 1,5 раза – главный критерий для размещения вязкоупругого материала в полости между трубами гистерезисного демпфера.

Данные показатели необходимы для эффективного гашения вибраций.

Основная часть. Объектом исследования является вязкоупругий материал, состоящий из хлорбутилкаучука марки ХБК-139 ТУ 2294-096-05766801-2000 (ПАО «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ», Россия), Вулкати́ва С-1 ТУ 2294 001-31273447-2010, индустриального масла И-40 ГОСТ 20799-88 (РуссНефть, Россия), мела МИКАРБ ТУ 5743-020-05346453-2008 (Геоком, Россия), технического углерода марки П-803 ГОСТ 7885-86 (АО Нижнекамсктехуглерод, Россия), вул-



канизирующих агентов – тиурама ГОСТ 740-76 и серы молотой ГОСТ 127.5-93 и микросфер Expancel 950 DU 120 ТУ 2291-012-25665344-2013.

Образцы изготавливались в течение 20 минут при температуре 110 °С.

Испытания на механическое растяжение проводились с использованием испытательной машины Autograph AG-X 5 кН фирмы Shimadzu (Киото, Япония) при комнатной температуре и скорости перемещения образцов между пластин 120 мм/мин по ГОСТ 270.

Прерывистые циклические испытания на растяжение-сжатие при 100 % относительном удлинении проводились на машине Autograph AG-X 5 кН фирмы Shimadzu (Киото, Япония) со скоростью перемещения 120 мм/мин по ГОСТ ISO 1827-2019.

Тангенс угла механических потерь определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\Psi}{2\pi}, \quad (1)$$

где Ψ – коэффициент поглощения энергии.

$$\Psi = \frac{\Delta W}{W}, \quad (2)$$

где ΔW – рассеяние энергии системы за счет внутреннего трения; W – работа упругих сил за четверть цикла.

Модуль сдвига при 100 % деформации (G_{100}) при испытаниях на растяжение определялся по формуле:

$$G_{100} = \frac{E_{100}}{2\mu + 2}, \quad (3)$$

где E_{100} – модуль Юнга, МПа; μ – коэффициент Пуассона.

В процессе исследования определено влияние компонентов на состав и проведена оптимизация полученного состава.

В результате исследования разработан прототип терморасширяющегося вязкоупругого материала [12] со следующими характеристиками:

- тангенс угла механических потерь ($\operatorname{tg}\delta$) – 0,3 у.е.;
- максимальная деформативность при сдвиге – 300 %;
- модуль сдвига при 100 % деформации (G_{100}) – 0,14 МПа;
- терморасширение в 1,5 раза.

Результаты испытаний с разрывной машины представлены на рис. 2.

Данный материал прошел успешные испытания в Испании [13].

Разработанный терморасширяющийся материал возможно использовать в различных отраслях промышленности в целях вибро- и звукопоглощения, тем самым уменьшая риск появления вибрационных болезней, сердечно-сосудистых заболеваний, нарушений центральной нервной системы и т. д. Но в настоящий момент материал находит свое применение при борьбе с землетрясениями.

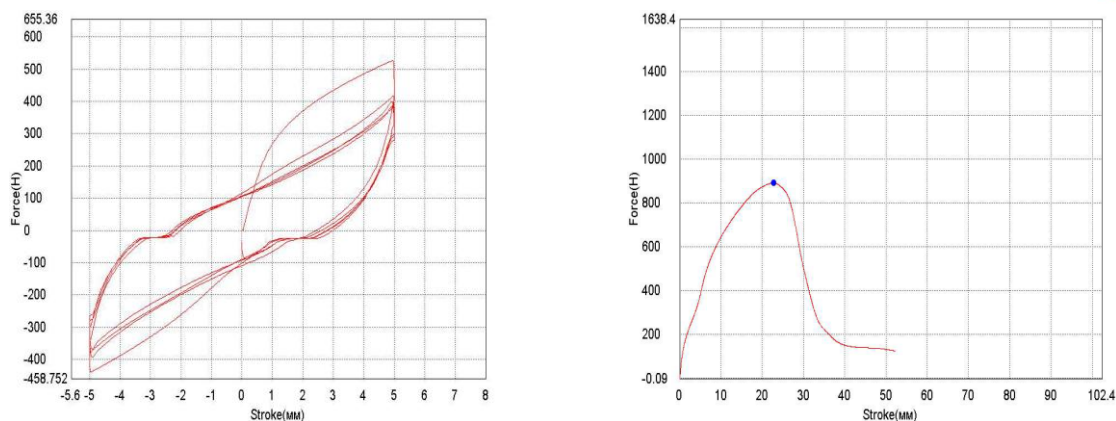


Рис. 2. Графики с испытаний динамических механических характеристик материала

Заключение. В результате исследования разработан терморасширяющийся вязкоупругий материал с требуемыми динамическими механическими характеристиками. Разработанный материал успешно испытан в составе гистерезисного демпфера и показал возможность создания нового вида сейсмического демпфера.

Проект финансово поддерживается Фондом гражданского общества и Фондом содействия инновациям.

Литература

1. Alexander, D. Natural disasters / D. Alexander. – Routledge, 2018. – 652 p.
2. Каррыев, Б. Катастрофы в природе: Землетрясения / Б. Каррыев. – М. : Litres, 2022. – 540 с.
3. Тормозов, Н. А. Землетрясение как смертоносная природная катастрофа / Н. А. Тормозов, Н. Ю. Кожевникова // Молодежь и наука. – 2021. – № 4. – 4 с.
4. Innovations in earthquake risk reduction for resilience: Recent advances and challenges / Freddi F. [et al.] // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2021. – Т. 60. – С. 102–267.
5. Мамбетказиев, Т. К. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений / Т. К. Мамбетказиев, Т. С. Мамбеталиев, Б. С. Ордобаев // Современные техника и технологии в научных исследованиях : сборник материалов XIII Международной конференции молодых ученых и студентов, Бишкек, 28–30 апреля 2021 года. – Бишкек : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2021. – С. 258–263.
6. Седько, А. С. Технологии защиты зданий от сейсмических воздействий / А. С. Седько // Молодежь и научно-технический прогресс : Сборник докладов XI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х томах, Губкин, Старый Оскол, 19 апреля 2018 года / Составители В. Н. Рошупкина, В. М. Уваров. – Губкин, Старый Оскол : ООО «Ассистент плюс», 2018. – Т. 3. – С. 321–324.
7. Алипур, М. Система сейсмической изоляции и сейсмические демпферы / М. Алипур, К. Ф. Р. Гусман, М. И. Абу Махади // Системные технологии. – 2019. – № 2 (31). – С. 58–64.



8. Пастухов, С. П. Сейсмостойкое строительство / С. П. Пастухов // Actualscience. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 136–138.
9. Iwata, M. Performance evaluation of buckling-restrained braces in damage-controlled structures / M. Iwata, T. Kato, A. Wada // STESSA 2003 – Behavior of steel structures in seismic areas : Proceedings of the 4th International Specialty Conference, Naples, Italy, 9-12 June 2003. – London : Routledge, 2017. – P. 37–43.
10. Amadeo Benavent-Climent. A brace-type seismic damper based on yielding the walls of hollow structural sections / Amadeo Benavent-Climent // Engineering Structures. – 2010. – Vol 32, Issue 4. – P. 1113–1122.
11. Демпфер TRC, система сейсмического контроля для жилых зданий [Электронный ресурс]. – Комаки : Амортизаторы TRC от Sumitomo Riko. – Режим доступа: <https://www.sumitomoriko.co.jp/trc-damper-wh/overview.html>.
12. Пат. 2789129 Российская Федерация, МПК С 08 L 15/02, С 08 L 23/22, С 08 L 23/28. Терморасширяющаяся вязкоупругая смесь : № 2021139754 : заявл. 29.12.2021 : опубл. 30.01.2023 / Ю. В. Юркин [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет».
13. Shake table tests on a reinforced concrete waffle-flat plate structure with new hybrid energy dissipation devices / A. Benavent-Climent [et al] // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. – 2023. – Vol. 52, Issue 3. – P. 727–749.

УДК 621.311.22:005.93+620.97

Повышение термодинамической эффективности ТЭЦ при развитии системы регенеративного подогрева питательной воды

*Янчук В. В., Романюк В. Н., доктор техн. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65*

Аннотация. На промышленных ТЭЦ, где невозврат конденсата производственного отбора значителен, целесообразным оказывается регенеративное использование отходящих низкотемпературных потоков. В частности, теплоту охлаждения циркуляционной воды конденсатора паровой турбины возможно использовать для нагрева подпиточной воды и применения абсорбционных тепловых насосов (АБТН). Для привода АБТН используются потоки высокопотенциальной тепловой энергии. В данной работе рассмотрен паровой привод АБТН. Использование на привод пара из регенеративных отборов соответствующих параметров или пара из отбора на деаэратор показывает рост показателей эффективности ТЭЦ. В качестве функции цели при реализации данного решения возможно как снижать выработку электрической энергии, так и сохранять или повышать последнюю. В работе представлены зависимости для роста электрического и эксергетического КПД ТЭЦ при снижении электрической мощности станции и сохранении минимального пропуска пара в конденсатор, что наиболее согласуется с текущими условиями работы Белорусской ОЭС. Максимальный рост