

## Изучение влияния октилфенолформальдегидной смолы на динамические механические свойства вибропоглощающих материалов на основе бутилкаучука

*Р.С. Рогожкин<sup>1</sup>, Ю.В. Юркин<sup>1</sup>, И.Б. Шилов<sup>1</sup>, В.В. Авдонин<sup>2</sup>, Д.А. Варанкина<sup>1</sup>, Н.В. Тарадаев<sup>2</sup>, А.А. Басалаев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Вятский государственный университет, г. Киров*

*<sup>2</sup>Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, г. Саранск*

**Аннотация:** Вулканизация - это технологический процесс, который превращает пластичный каучук в резину. Как результат вулканизации, форма изделия фиксируется, а материал становится более прочным, твердым и эластичным. Цель статьи - определить влияние октилфенолформальдегидной смолы на параметры вулканизации и выявить её оптимальное количество для разработки вибропоглощающих материалов на основе бутилкаучука. Было установлено влияние вулканизирующего агента (октилфенолформальдегидной смолы) на свойства резиновой смеси при вулканизации. В результате исследования изучены кинетика вулканизации и влияние различных компонентов на свойства резиновой смеси, такие как относительное удлинение при разрыве, условная прочность при растяжении и удельная демпфирующая способность. Данное исследование проводится с целью поиска оптимальной резины для размещения в сейсмическом демпфере, применяемом в зданиях и сооружениях.

**Ключевые слова:** вулканизирующая группа, вибропоглощающий материал, бутилкаучук, резиновая смесь, вулканизация, октилфенолформальдегидная смола, сейсмический демпфер.

### 1. Введение

Вибропоглощающий материал – это материал, способный поглощать и снижать уровень вибраций и шума. Такие материалы используются в машиностроении и автомобильной промышленности [1, 2], в электронике и телекоммуникациях, в аэрокосмической промышленности [3], в строительстве и архитектуре [4 – 6], в медицине и во многих других сферах деятельности [7, 8].

Вибропоглощающие материалы обладают способностью преобразовывать механическую энергию колебаний в другие формы энергии, преимущественно в тепло. Они обычно состоят из различных компонентов, включая полимеры, резины, металлы или композитные материалы [9].

---

Вибропоглощающие материалы могут быть представлены в виде листов, плит, пен или специальных покрытий [10]. Данные материалы способны снижать вибрации, улучшая комфорт и безопасность в среде, где они применяются.

Одной из основных составляющих вибропоглощающих материалов является вулканизирующая группа, которая определяет их механические и термические свойства [11]. Вулканизирующая группа может влиять на свойства вибропоглощающих материалов, улучшая устойчивость к динамическим нагрузкам, амортизацию и химическую стойкость. Фенолформальдегидная смола является одним из ключевых вулканизирующих агентов в составах на основе бутилкаучука.

Цель работы: исследовать влияние октилфенолформальдегидной смолы на динамические механические свойства вибропоглощающих материалов.

Результаты исследования имеют большое значение для строительной индустрии, а также для разработки виброизоляторов, обеспечивающих более эффективную защиту зданий и сооружений от воздействия вибраций и шума.

## **2. Методы**

### **2.1. Материалы**

Для изготовления резин использовались БК-1675Н ТУ 2294-034-05766801-2002 (ПАО «Нижнекамскнефтехим», Россия), ХБК-139 ТУ 2294-096-05766801-2000 (ПАО «Нижнекамскнефтехим», Россия), индустриальное масло И-40 ГОСТ 20799-88 (РуссНефть, Россия), мел МИКАРБ ТУ 5743-020-05346453-2008 (Геоком, Россия), технический углерод П-803 ГОСТ 7885-86 (АО Нижнекамсктехуглерод, Россия) и октилфенолформальдегидная смола SP-1045 ("SI Group", Франция).

В исследуемых резинах использовались компоненты в массовых частях: БК-1675Н – 90, ХБК-139 – 10, И-40 – 35, мел МИКАРБ – 45, ТУ П-803 – 110, октилфенолформальдегидная смола – 5-60.

## 2.2. Приготовление образцов

Смешение компонентов составов, производилось в микросмесителе типа Vrabender при температуре 110°C со скоростью 60 об/мин. в течение 20 минут.

Режим смешения: БК-1675Н, ХБК-139 – 1-2 минуты, 1/3 наполнителей, 1/3 пластификатора – 3-5 минут, 1/3 наполнителей, 1/3 пластификатора – 3-5 минут, 1/3 наполнителей, 1/3 пластификатора, октилфенолформальдегидная смола – 5-7 минут.

После смешения образцы помещались в гидравлический пресс (100 кгс/см<sup>2</sup>) при 190°C на время, установленное по показаниям реометра. Далее образцы вырубались в виде лопаток.

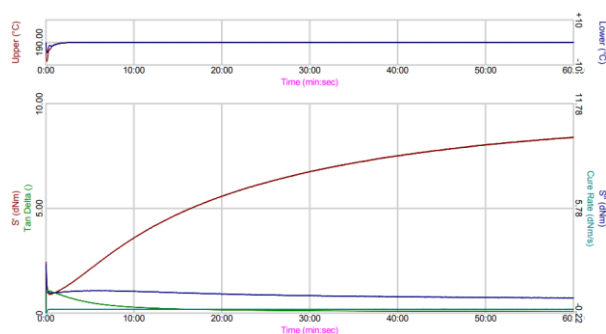
## 2.3. Методы испытаний

Испытания на механическое растяжение проводились с использованием испытательной машины Autograph AG-X 5 кН фирмы Shimadzu (Киото, Япония) при комнатной температуре и скорости движения активного захвата 500 мм/мин на образцах в форме лопаток в соответствии с ГОСТ 270-75.

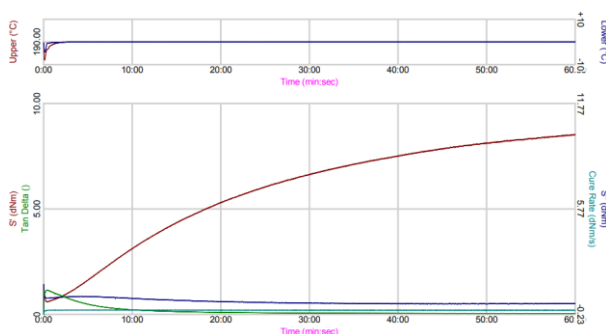
Циклической деформации до 100% растяжения образцы подвергали на том же оборудовании со скоростью перемещения 500 мм/мин в количестве 5 повторений по ГОСТ 252-75. Удельная демпфирующая способность представляет собой отношение энергии, рассеиваемой за пять циклов, к упругой или потенциальной энергии, накопленной за этот цикл [12, 13].

## 3. Результаты и обсуждение

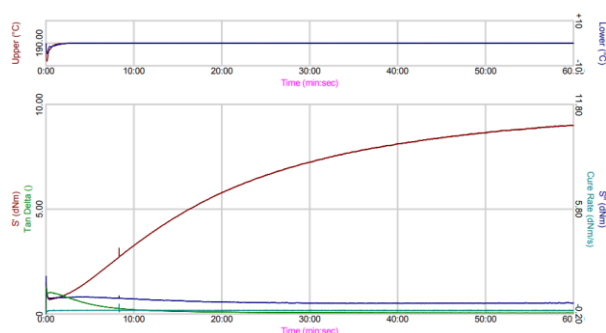
Были изготовлены составы с октилфенолформальдегидной смолой, м.ч.: 10; 20; 30 на 100 м.ч. каучука. На рис.1 представлены результаты кинетики вулканизации.



а)



б)

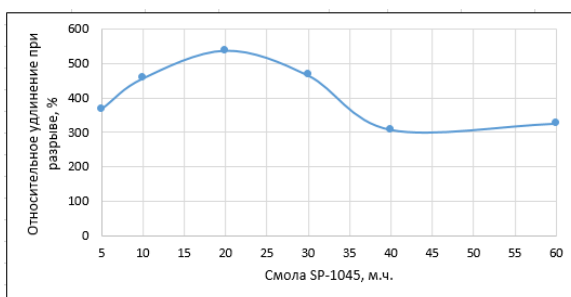


в)

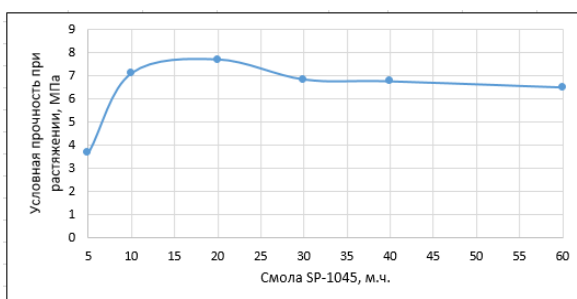
Рис. 1. – Кинетика вулканизации для резины с содержанием октилфенолформальдегидной смолы: а) 10 м.ч.; б) 20 м.ч.; в) 30 м.ч. на 100 м.ч. каучука

У всех исследуемых образцов спустя час крутящий момент и жёсткость материала продолжают расти. Дальнейшее увеличение времени вулканизации неэффективно при производстве и приведёт к незначительному росту показателей характеристик, поэтому принято решение вулканизовать образцы 60 минут.

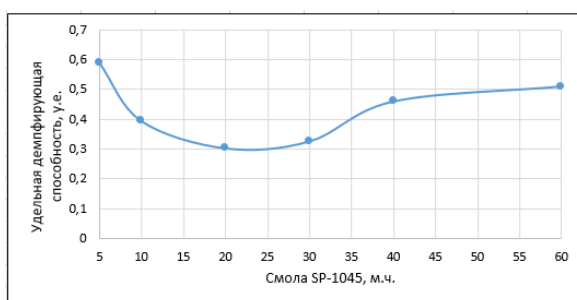
По результатам испытаний на разрывной машине (рис.2) можно отметить увеличение относительного удлинения при разрыве и условной прочности при растяжении, но снижение удельной демпфирующей способности до концентрации смолы в количестве 20 м.ч. Затем до концентрации смолы в 40 м.ч. наблюдается обратная зависимость изменения исследуемых характеристик с последующим выходом на плато.



а)



б)



в)

Рис. 2. – Динамические механические характеристики материала при варьировании количества октилфенолформальдегидной смолы: а) относительное удлинение при разрыве; б) условная прочность при растяжении; в) удельная демпфирующая способность

Удельная демпфирующая способность до концентрации 20 м.ч. смолы падает, потому что растёт количество поперечных связей. Предполагаем, что добавление смолы более 20 м.ч. является избыточным.

Для разработки вибропоглощающих материалов оптимальным количеством октилфенолформальдегидной смолы можно считать 10 м.ч. на 100 м.ч. каучука. Характеристики оптимального состава представлены в таблице №1.

Таблица №1

Характеристики оптимальной резины

Характеристика	Количественный показатель
Относительное удлинение при разрыве ( $\delta_{\max}$ ), %	460
Удельная демпфирующая способность, у.е.	0,4
Условная прочность при растяжении, МПа	7,10

**Заключение**

Исследовано влияние смоляной вулканизации резин на динамические механические характеристики (относительное удлинение при разрыве, условная прочность при растяжении и удельная демпфирующая способность) вибропоглощающих материалов на основе бутилкаучука.

При увеличении количества смолы удельная демпфирующая способность до 20 м.ч. снижается, затем увеличивается, а относительное удлинение при разрыве и условная прочность при растяжении изменяются обратно пропорционально.

Выявлено оптимальное добавление октилфенолформальдегидной смолы (10 м.ч.) в вибропоглощающий материал на основе бутилкаучука, способствующее наибольшей эффективности состава.

*Благодарности.* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00301, [rscf.ru/project/21-79-00301/](https://rscf.ru/project/21-79-00301/).

### Литература

1. Sutar P. A short review of vibration isolation using various insulating materials // Materials Science. Power Engineering. – 2021. – Vol. 27, №. 4. – pp. 117-123. – DOI: 10.18721/JEST.27409.

2. Черкасов В. Д., Юркин Ю. В., Авдонин В. В. Битумно-каучуковое вяжущее для эффективных вибропоглощающих покрытий // Magazine of Civil Engineering. – 2013. – №. 8 (43). – С. 7-13.

3. Zverev A. Y., Chernyh V. V. Promising Methods for Reducing the Vibrations of Aircraft Structures under Acoustic Excitation // Doklady Physics. – Moscow: Pleiades Publishing, 2022. – V. 67. – №. 9. – pp. 369-376. – DOI: 10.1134/S1028335822090154.

4. Юркин Ю. В., Ponce-Parra H., Рогожкин Р. С., Варанкина Д. А. Влияние силы сжатия на характеристики вязкоупругого материала // Инженерный вестник Дона, 2022, №. 7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7815/](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7815/).

5. Волоцкой А. Н., Юркин Ю. В., Авдонин В. В. Исследование тангенса угла механических потерь и прочности вибропоглощающих материалов на основе этиленвинилацетата, модифицированных каучуками // Инженерный вестник Дона, 2019, №. 8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6136/](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6136/).

6. Cherkasov D. V., Yurkin Y. V., Avdonin V. V. Study of physical and mechanical properties of non-polar rubber-based sealants depending on filler type and volume // Solid State Phenomena. – 2017. – V. 265. – pp. 422-427.

7. Kraus K, Šika Z, Beneš P, Krivošej J, Vyhlídal T. Mechatronic robot arm with active vibration absorbers. Journal of Vibration and Control. 2020; 26(13-14):1145-1156. doi: 10.1177/1077546320918488.

8. Черкасов В. Д., Авдонин В. В., Пильщиков В. О., Аникина Н. С., Юркин Ю. В. Полимерные вяжущие для производства вибропоглощающих

---

материалов // Региональная архитектура и строительство. - 2017. - №3 (32). - С. 59-67.

9. Negmatov S., Ulmasov T., Navruzov F., Jovliyev S. Vibration damping composition polymer materials and coatings for engineering purpose // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – V. 264. – P. 05034. doi.org/10.1051/e3sconf/202126405034

10. Черкасов, В. Д., Юркин Ю. В., Авдонин В. В. Проектирование состава наполненного вибропоглощающего материала // Перспективные материалы. – 2015. – № 1. – С. 49-57.

11. Жансакова К. С., Русских Г. С., Еремин Е. Н. Влияние ускорителя вулканизации на свойства пористых резин // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2021. – Т. 14. – №. 2. – С. 215-221. DOI: 10.17516/1999-494X-0302.

12. Liu S, Li A, He S, Xuan P. Cyclic compression behavior and energy dissipation of aluminum foam–polyurethane interpenetrating phase composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2015; 78: 35-41. – DOI: 10.1016/j.compositesa.2015.07.016.

13. Avdonin V. V., Yurkin Yu. V., Shirokova E. S., Varankina D. A., Rogozhkin R. S. Effect of plasticizers on the mechanical and technological properties of styrene-isoprene block copolymer composites under cyclic loading // Materials Physics and Mechanics. – 2022. – Vol. 50, No. 2. – pp. 355-363. – DOI: 10.18149/MPM.5022022\_14.

### References

1. Sutar P. Materials Science. Power Engineering. 2021. Vol. 27, No. 4. pp. 117-123. DOI: 10.18721/JEST.27409.

2. Cherkasov V. D., Yurkin YU. V., Avdonin V. V. Magazine of Civil Engineering. 2013. №. 8 (43). pp. 7-13.



3. Zverev A. Y., Chernyh V. V. Doklady Physics. Moscow: Pleiades Publishing, 2022. V. 67. №. 9. pp. 369-376. DOI: 10.1134/S1028335822090154.
4. Yurkin YU. V., Ponce-Parra H., Rogozhkin R. S., Varankina D. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №. 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7815/.
5. Volotskoy A. N., Yurkin YU. V., Avdonin V. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №. 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6136/.
6. Cherkasov D. V., Yurkin Y. V., Avdonin V. V. Solid State Phenomena. 2017. V. 265. pp. 422-427.
7. Kraus K, Šika Z, Beneš P, Krivošej J, Vyhlídal T. Journal of Vibration and Control. 2020; 26(13-14):1145-1156. doi: 10.1177/1077546320918488.
8. Cherkasov V. D., Avdonin V. V., Pil'shchikov V. O., Anikina N. S., Yurkin YU. V. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2017. №3 (32). pp. 59-67.
9. Negmatov S., Ulmasov T., Navruzov F., Jovliyev S. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. V. 264. P. 05034. doi.org/10.1051/e3sconf/202126405034
10. Cherkasov, V. D., Yurkin YU. V., Avdonin V. V. Perspektivnyye materialy. 2015. № 1. pp. 49-57.
11. Zhansakova K. S., Russkikh G. S., Yeremin E. N. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii. 2021. T. 14. №. 2. pp. 215-221. DOI: 10.17516/1999-494X-0302.
12. Liu S, Li A, He S, Xuan P. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2015; 78: 35-41. DOI: 10.1016/j.compositesa.2015.07.016.
13. Avdonin V. V., Yurkin Yu. V., Shirokova E. S., Varankina D. A., Rogozhkin R. S. Materials Physics and Mechanics. 2022. Vol. 50, No. 2. pp. 355-363. DOI: 10.18149/MPM.5022022\_14.

**Дата поступления: 16.05.2024**

**Дата публикации: 28.06.2024**

---