

УДК 622.002.5-752.2

**Логинова А.А.**, магістр  
(ІГТМ НАН України)**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ****Логінова А.О.**, магістр  
(ІГТМ НАН України)**ВПЛИВ ПРОЦЕСУ СТАРІННЯ В УМОВАХ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРУЖНО-ДИСИПАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ГУМОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ****Loginova A.A.**, M.S (Tech)  
(IGTM NAS of Ukraine)**AGING PROCESSES IMPACT ON ELASTIC-DISSIPATIVE PROPERTIES OF THE RUBBER ELEMENTS IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT**

**Аннотация.** Проведён комплекс экспериментальных исследований по определению совокупного влияния процесса старения в условиях кислотной агрессивной среды на упруго-диссипативные свойства эластомеров. В частности, изучалось влияние серной кислоты с концентрацией 1,5%, 3%, 5% и 10% на свойства резиновых виброизоляторов типа ВР201. Испытаниям для каждой концентрации подлежали три пары образцов, упруго-диссипативные свойства которых отличалась не более чем на 3 %. Статическая жёсткость и коэффициент диссипации определялась через каждые 500 часов. В результате проведенных исследований определены закономерности и получены ранее неизвестные функциональные зависимости, определяющие изменение жесткости и коэффициента диссипации резины в рассматриваемых условиях. Сделан вывод о том, что при старении в условиях агрессивной среды, в отличие от естественного старения, в эластомерах из исследуемой резины преобладает процесс деструкции. Полученные зависимости могут применяться при прогнозировании долговечности резиновых деталей и узлов, эксплуатируемых в условиях кислотной агрессивной среды.

**Ключевые слова:** резиновые узлы и детали, долговечность эластомеров, кислотная агрессивная среда, упруго-диссипативные свойства резины.

**Введение.** В настоящее время на серийно выпускаемых горных машинах, таких как дробилки различных типов, виброгрохоты, вибропитатели, конвейеры, смесители, окомкователи и т.д. резиновые элементы конструкции (эластомеры) испытывают влияние целого комплекса воздействий механического, термического и химического характеров. Таким образом, кроме естественного изменения физико-механических характеристик резины во времени, т.н. старения, полимерные узлы и детали машин, в зависимости от условий эксплуатации, испытывают влияние циклических и ударных нагрузок, солнечной радиации и радиоактивного излучения горных пород, повышенных и пониженных температур, а также влияние внешней влажной агрессивной среды, которые су-

щественно влияют на долговечность их работы и, соответственно, становятся причиной дополнительных ремонтов и простоев оборудования [Потураев В.Н., 1974].

Исследованию изложенных вопросов посвящено большое количество научных трудов [Потураев В.Н., 1974], [1,2], разработаны методы теоретического прогноза характеристик эластомеров при различных режимах нагружения, рекомендации по их конструктивным исполнениям и технологии изготовления. [1].

В настоящее время, в частности, в Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, выполнен комплекс фундаментальных исследований по определению влияния на долговечность резиновых деталей и узлов машин таких факторов, как естественное старение при обычных условиях, а также старение в условиях радиационного и солнечного излучение, повышенных и пониженных температур и циклического нагружения [3].

Одной из характерных особенностей условий эксплуатации наиболее массово используемых машин на горных предприятиях является влажная агрессивная среда, вызванная спецификой технологии переработки горной массы, что связано не только с орошением или пылеподавлением. Например, обогатительные угольные фабрики, в особенности применяющие тяжелосреднюю сепарацию с последующим додрабливанием кускового угля, крупной и мелкой отсадкой, грохочением, обезвоживанием, флотацией, на последней стадии обогатительного процесса эксплуатируют оборудование во влажной среде. При этом в углях и вмещающих породах имеются серосодержащие элементы (в частности пириты), которые в данных условиях создают кислотную агрессивную среду, влияющую на характеристики оборудования и его резиновых элементов.

На рудных предприятиях, например, Криворожского бассейна, в процессе рудоподготовки, включая все стадии дробления и вибрационной классификации, а также последующего обогащения и операций с концентратом, влажная среда обладает повышенной кислотностью. Это объясняется наличием халькопиритов и других минеральных соединений в горной массе.

Особого внимания, с точки зрения влияния агрессивной среды, заслуживают горно-химические процессы [2]. На горных предприятиях Украины ведется развитие и совершенствование добычи урана, что является важнейшей социально-экономической задачей, которая решается с применением методов подземного и кучного выщелачивания [4,5]. При этом используется целый комплекс добычной, горнотранспортной и обогатительной техники и возникает целый ряд не разрешённых, на сегодняшний день, научно-технических задач в горнодобывающей промышленности, в частности об определении степени влияния агрессивной среды на состояние оборудования и его элементов.

### **Изложение основного материала.**

В связи с вышеуказанными соображениями нами был проведен ряд экспериментов по изучению влияния на упруго-диссипативные свойства эластомеров агрессивной среды, а именно серной кислоты с концентрацией 1,5%, 3%, 5% и 10%. В качестве исследуемых образцов – резиновые виброизоляторы типа

BR201 (резина марки А, на основе СКИ-3, 45 масс.ч. технического углерода). В настоящей работе рассматриваются некоторые особенности деформирования и разрушения резиновых элементов из этой марки резин как часть общих закономерностей механики разрушения вязкоупругих систем. Она всесторонне апробирована в промышленных условиях эксплуатации [6], поэтому для дальнейших исследований была выбрана именно эта резина. В качестве информативного параметра выбиралась статическая жёсткость, определяемая при сжатии образцов, и коэффициент диссипации.

Испытаниям для каждой концентрации подлежали три пары образцов, упруго-диссипативные свойства которых отличалась не более чем на 3 %. Статическая жёсткость и коэффициент диссипации определялась через каждые 500 ч.

Результаты испытаний показаны на рис. 1 и 2.

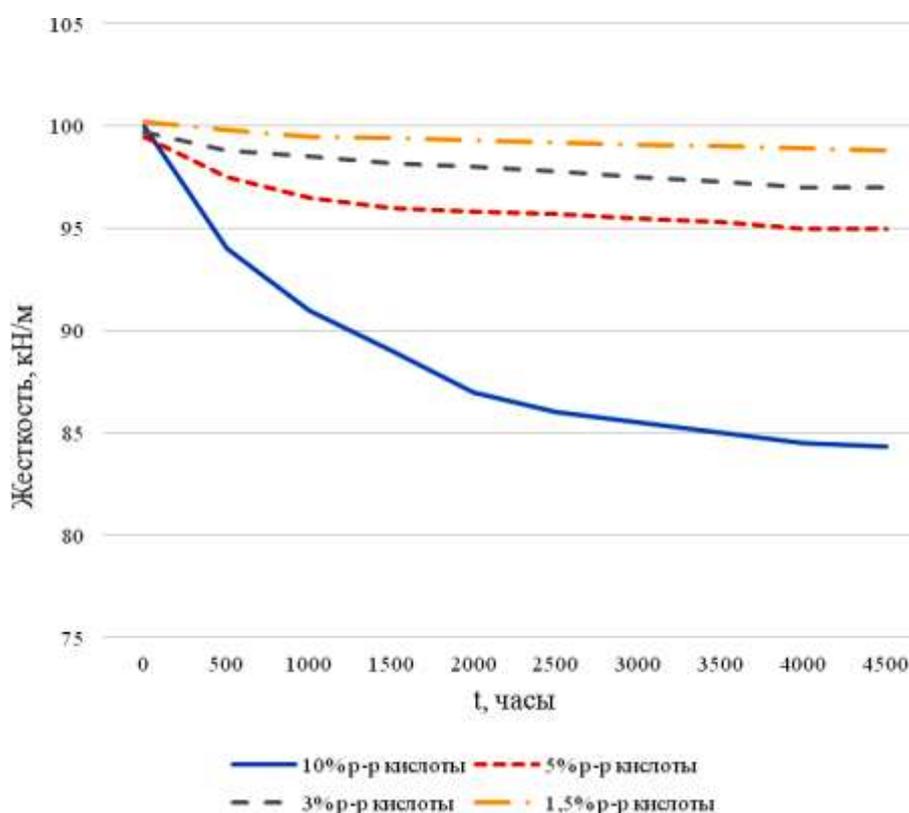


Рисунок 1 – Изменение жесткости эластомеров от воздействия кислой агрессивной среды

Из полученных графиков видно, что и жесткость, и коэффициент диссипации эластомеров под влиянием агрессивной среды уменьшаются, что, в данном случае, можно объяснить преобладанием процесса гидролитической деструкции над процессом структурирования, т.е. разрушением молекулярной сетки резины.

Аппроксимируя полученные данные получим общие зависимости, определяющие изменение жесткостных ( $C_{a.c.}$ ) и диссипативных свойств эластомеров ( $\Psi_{a.c.}$ ) в условиях агрессивной среды.

$$\psi_{a.c.}(t) = \psi_n - k_{a.c.-\psi} \cdot t \quad (1)$$

$$C_{a.c.}(t) = C_k + (C_n - C_k) \cdot e^{-k_{a.c.-C} \cdot t} \quad (2)$$

где  $\psi_n$  – начальное значение коэффициента диссипации;  $C_n$  и  $C_k$  – начальное и конечное значение параметра жесткости резины;  $k_{a.c.-\psi}$  и  $k_{a.c.-C}$  – коэффициент, учитывающий влияние агрессивной среды при определении коэффициента диссипации и жесткости соответственно.

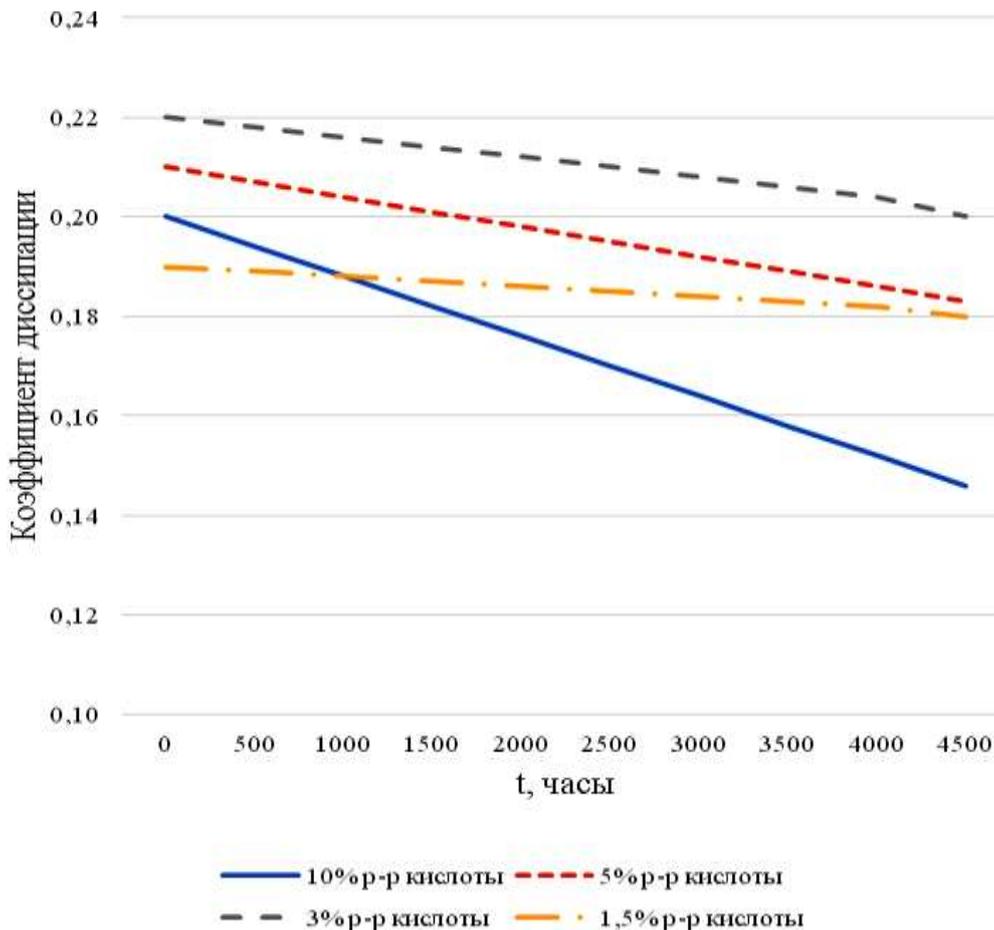


Рисунок 2 – Изменение коэффициента диссипации эластомеров от воздействия кислот агрессивной среды

Для резины марки А, на основе СКИ-3, 45 масс.ч. технического углерода при воздействии агрессивной среды, а именно серной кислоты различной концентрации, полученные зависимости представлены в табл. 1.

Проанализировав данные о старении эластомеров из резины марки А, на основе СКИ-3 в обычных условиях и в условиях агрессивной среды, мы получили объективный результат, свидетельствующий о том, что в условиях агрессивной среды закон изменения жесткости резины имеет принципиально иной характер (при старении в обычных условиях жесткость растёт по экспоненциальному за-

кону [3], а в условиях агрессивной среды – уменьшается), что связано с преобладанием процесса деструкции резины.

Таблица 1 - Зависимость, определяющая изменение статической жесткости и коэффициента диссипации эластомера

Концентрация серной кислоты	Зависимость, определяющая изменение статической жесткости эластомера	Зависимость, определяющая коэффициент диссипации эластомера
1,5%	$C_{1,5\%}(t) = C_k + (C_n - C_k) \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-3} \cdot t}$	$\psi_{1,5\%} = \psi_n - 3,2 \cdot 10^{-6} \cdot t$
3%	$C_{3\%}(t) = C_k + (C_n - C_k) \cdot e^{-10^{-3} \cdot t}$	$\psi_{3\%} = \psi_n - 4,1 \cdot 10^{-6} \cdot t$
5%	$C_{5\%}(t) = C_k + (C_n - C_k) \cdot e^{-9 \cdot 10^{-4} \cdot t}$	$\psi_{5\%} = \psi_n - 6 \cdot 10^{-6} \cdot t$
10%	$C_{10\%}(t) = C_k + (C_n - C_k) \cdot e^{-8,5 \cdot 10^{-4} \cdot t}$	$\psi_{10\%} = \psi_n - 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot t$

Коэффициент диссипации в условиях агрессивной среды сохраняет закон в соответствии с которым он изменяется при старении в обычных условиях, однако скорость этого изменения возрастает, что также связано с активизацией процессов деструкции.

В табл. 2 указан процент на который уменьшается величина коэффициента диссипации для резины марки А, на основе СКИ-3 при старении в обычных условиях (расчёт взят из [3]) и в условиях агрессивной среды (получен аппроксимацией экспериментальных данных) через 4500 часов.

Таблица 2 – Уменьшение коэффициента диссипации (4500 часов)

Старение в обычных условиях	6,4%
Старение в условиях агрессивной среды:	
1) 1,5% H2SO4	8%
2) 3% H2SO4	9%
3) 5% H2SO4	13%
4) 10% H2SO4	23%

### Выводы.

Комплекс проведенных экспериментальных исследований по определению совокупного влияния процесса старения в условиях кислотной агрессивной среды на упруго-диссипативные свойства эластомеров позволил определить следующие закономерности и ранее не известные функциональные зависимости, определяющие изменение жесткости и коэффициента диссипации резины марки А на основе СКИ-3 в рассматриваемых условиях:

жесткость уменьшается по экспоненциальному закону:

$$C_{a.c.}(t) = C_k + (C_n - C_k) \cdot e^{-k_{a.c.} \cdot t};$$

коэффициент диссипации уменьшается по линейному закону, как и при естественном старении, однако с большей скоростью процесса:

$$\psi_{a.c.}(t) = \psi_n - k_{a.c-\psi} \cdot t$$

Коэффициенты, учитывающие влияние агрессивной среды при определении коэффициента диссипации  $k_{a.c-\psi}$  и жесткости  $k_{a.c.-C}$  для концентрации серной кислоты 1,5÷10% изменяются соответственно  $k_{a.c-\psi} = 3,210^{-6} \div 1,2 \text{ ч}^{-1}$  для  $k_{a.c.-C} = 1,210^{-3} \div 8,5 \text{ ч}^{-1}$ .

Полученные зависимости могут применяться при прогнозировании долговечности резиновых деталей и узлов, эксплуатируемых в условиях кислотной агрессивной среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потураев, В.Н. Резина в горном деле. Монография / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, В.П. Надутый. – М.: Недра, 1974. – 150 с.
2. Потураев, В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах. Монография / В.Н. Потураев, В.П. Франчук, В.П. Надутый. – Днепропетровск, НГА Украины, 2002. – 186 с.
3. Надутый, В.П. Моделирование и средства интенсификации дробильно-сортировочных комплексов. Монография. – Днепропетровск: НГА Украины, 2002. – 203 с.
4. Прикладная механика упругонаследственных сред / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – К.: Наук. думка, 2012. – 614с.
5. Ларин, В.К. Опыт промышленного применения кучного выщелачивания урановых руд / В.К. Ларин, Р.В. Зайцев // Горный журнал. – 1999. - № 12. – С. 51-54.
6. Ляшенко, В.И. Охрана окружающей среды и человека в уранодобывающем регионе / В.И. Ляшенко // Горный журнал. – 1999. - № 12. – С. 65-66.
7. Эластомеры в горном деле/ А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский [и др.]. - К.: Наукова думка, 2016 – 383 с.

#### REFERENCES

1. Poturaev, V.N., Dyrda, V.I. and Naduty, V.P. (1974), *Rezina v gornom dele* [Rubber in the mining], Nedra, Moscow, USSR.
2. Poturaev, V.N., Franchuk, V.P. and Naduty, V.P. (2002), *Vibratsionnaya tekhnika i tekhnologii v energoemkikh proizvodstvakh* [Vibratory equipment and technologies in energy-intensive industries], NGA Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Naduty, V.P.(2002), *Modelirovanie i sredstva intensifikatsii drobilno-sortirovochnykh kompleksov* [Modeling and means intensification of crushing and screening plant], NGA Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.
4. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zvyagilskiy, Je.L. and Kobets, A.S. (2012), *Prikladnaya mekhanika uprugonasledstvennykh sred* [Applied mechanics of elastic media], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
5. Larin, V.K. and Zaytsev R.V. (1999), «Experience of industrial application of heap leaching of uranium ores», *Gorny zhurnal*, vol. 12, pp. 51-54.
6. Lyashenko, V.I. (1999), «Environmental protection and human in the region for the extraction of uranium», *Gorny zhurnal*, vol. 12, pp. 65-66.
7. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zvyagilskiy, Je.L., Loginova, A.A., Puhalskiy, V.N., Naduty V.P., Lisitsa, N.I. and Morus, V.L. (2016), *Elastomery v gornom dele* [Elastomers in the mining industry], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

#### Об авторе

**Логина Анастасия Александровна**, магистр, инженер 1-ой категории отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, LoginovaA@nmu.org.ua.

### About the author

*Loginova Anastasiya Aleksandrovna*, Master of Science, First category engineer of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, LoginovaA@nmu.org.ua.

---

**Анотація.** Проведено комплекс експериментальних досліджень з визначення сукупного впливу процесу старіння в умовах кислотного агресивного середовища на пружно-дисипативні властивості еластомерів. Зокрема, вивчався вплив сірчаної кислоти з концентрацією 1,5%, 3%, 5% і 10% на властивості гумових віброізоляторів типу BP201. Випробуванням для кожної концентрації підлягали три пари зразків, пружно-дисипативні властивості яких відрізнялися не більше ніж на 3%. Статична жорсткість і коефіцієнт дисипації визначалася через кожні 500 годин. В результаті проведених досліджень визначені закономірності і отримані раніше не відомі функціональні залежності, що визначають зміну жорсткості і коефіцієнта дисипації гуми в даних умовах. Зроблено висновок про те, що при старінні в умовах агресивного середовища, на відміну від природного старіння, в еластомерах з досліджуваної гуми переважає процес деструкції. Отримані залежності можуть застосовуватися при прогнозуванні довговічності гумових деталей і вузлів, що експлуатуються в умовах кислотного агресивного середовища.

**Ключові слова:** гумові вузли та деталі, довговічність еластомерів, кислотне агресивне середовище, пружно-дисипативні властивості гуми.

**Abstract.** Experimental studies were conducted with the purpose to determine a cumulative effect of the aging processes on the elastic-dissipative properties of elastomers in the acidic aggressive environment. In particular, an impact of sulfuric acid with concentrations of 1.5%, 3%, 5% and 10% on the properties of rubber vibration isolators of the BP201 type was studied. For each of the concentrations, three pairs of samples were tested, elastic-dissipative properties of which differed by not more than 3%. Static rigidity and dissipation factor were determined per each 500 hours. In result of the studies, lawful descriptions and functional interdependences never known before are established, which determine changes of rubber rigidity and dissipation factor in the considered conditions. A conclusion has been made that, in contrast to the natural aging, destruction process predominates when elastomers, made of rubber under the investigation, age in acidic aggressive environment. These dependencies can be applied for predicting durability of rubber elements and units operated in acidic aggressive environment.

**Keywords:** rubber elements and units, durability of elastomers, acidic aggressive environment, elastic-dissipative properties of rubber.

*Стаття поступила в редакцію 25.05.2016*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым*