

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ТЯЖЕЛЫХ ВИБРОПИТАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫПУСКА И ДОСТАВКИ УРАНОСОДЕРЖАЩИХ РУД

В рамках підвищення безпеки віброізолюючих систем важких віброживильників отримані залежності реологічних параметрів та довговічності гум і деталей на їх основі від дози опромінення при різноманітних умовах статичного та циклічного навантаження.

HEIGHTENING OF SAFETY OF SYSTEMS OF A VIBRATION INSULATION OF HEAVY VIBRATORY FEEDERS FOR ISSUE AND TRANSPORTATION URANIUM-CONTAINING OF ORES

Within the limits of heightening of safety of systems of a vibration insulation of heavy vibratory feeders dependences of rheological parameters and longevity of rubbers and parts on their fundamentals from an irradiation case dose are received under different conditions of a static and cyclic load.

Тяжелые вибрационные питатели ВПР-4М (ПВГ-1,2/3,1) для выпуска и доставки ураносодержащих руд работают на горных предприятиях Кривбасса в условиях повышенного радиационного излучения.

Питатели ВПР-4М (ПВГ-1,2/1,3) оснащены виброизолирующими системами, разработанными ИГТМ НАН Украины.

Радиационное излучение приводит к радиационнохимическим изменениям молекулярной структуры резин и к перестройке надмолекулярной структуры и, в конечном счете, – изменению ее механических свойств. Опубликованные результаты [1, 2], дают возможность сделать следующие выводы:

1) Радиационные излучения вызывают в резинах процессы структурирования и деструкции, причем преобладающим процессом является структурирование. Исключение составляют бутилкаучук, полиизобутилен и некоторые тиокولات [2, 3].

2) Помимо реакций структурирования и деструкции в резинах под действием излучения изменяются электропроводность, диэлектрические свойства [3].

3) Под действием излучений происходит разложение воздуха, в результате чего образуются различные газообразные продукты, в том числе и озон, оказывающий отрицательное воздействие на прочностные характеристики резиновых образцов [3].

4) На радиационно-химические реакции оказывает некоторое влияние мощность поглощенной дозы [4]. Увеличение мощности дозы от 0,25 до 2,30 Мрад/г значительно ускоряет радиационную деструкцию резины на основе технического каучука СКН-26. Вместе с тем изменение мощности дозы от 0,1 до 10 Мрад/г не влияет на физико-механические свойства резин на основе ряда каучуков, облученных при 25°C в воздушной среде.

5) Степень физико-химических превращений в резинах существенно зависит от дозы облучения. При дозах облучения приблизительно 200 Мрад наблюдается резкое падение прочности резины на основе НК. Однако с увеличением дозы облучения до 350 Мрад прочность резины несколько повышается. Подобные изменения прочностных характеристик под действием облучения отмечаются также в работе [5].

6) Радиационное излучение приводит к изменению скорости процессов ползучести и релаксации, протекающих в резинах, которые находятся в напряженном состоянии.

7) Динамический модуль упругости резин с ростом дозы облучения существенно возрастает. Для тангенса угла потерь отмечается падение с ростом дозы облучения.

Влияние радиационных излучений на механические характеристики резиновых конструкций подробно рассматривается в работе [1].

Для инженерной практики наибольшую ценность в рамках повышения безопасности виброизолирующих систем тяжелых вибропитателей представляют зависимости реологических параметров и долговечности резин и деталей на их основе от дозы облучения при различных условиях статического и циклического нагружения.

Располагая такими зависимостями, можно выбирать марки резин, соответствующие заданным условиям эксплуатации, назначать предельно допустимые дозы облучения и т. д. [6].

Динамический модуль сдвига в зависимости от дозы облучения (рис. 1) изменяется примерно по экспоненциальному закону [6].

В общем случае при $D > 10^{-2}$ МГр влияние облучения на величину модуля можно описать эмпирической зависимостью

$$G(D) = G_1 \left\{ 1 + \frac{G_2 - G_1}{G_1} \left[1 - \exp(-\alpha_2 D^{\xi_2}) \right] \right\}; \quad (1)$$

где G_1 – модуль сдвига необлученного образца;

G_2 – модуль сдвига образца при максимальной дозе облучения;

α_2, ξ_2 – постоянные, зависящие от типа резины, ее физико-механических свойств и условий облучения.

Зависимость коэффициента диссипации от дозы облучения (рис. 2) носит более сложный характер.

Диссипация энергии вначале уменьшается, что связано, видимо, с уменьшением внутренней вязкости, затем, благодаря структурированию резины число поперечных сшивок резко возрастает, и это вызывает рост коэффициента диссипации. При достижении числа сшивок определенной концентрации диссипация энергии уменьшается [6].

Изменение физико-механических характеристик резины под действием излучения определяет долговечность резины при их циклическом нагружении.

Наиболее стойкими к действию радиации являются резины 51-1562, 169, 28Э.

Рассмотрим зависимости модуля сдвига и коэффициента диссипации энергии для элементов сдвига типа БРМ-101 из резины марки 51-1562 от дозы облучения.

На рис. 3. представлены графики функций $G = G(D)$ и $\psi = \psi(D)$, где G – модуль сдвига, ψ – технический коэффициент поглощения энергии, D – доза облучения.

Связь между этими величинами аналитически можно представить в виде приближенных зависимостей типа:

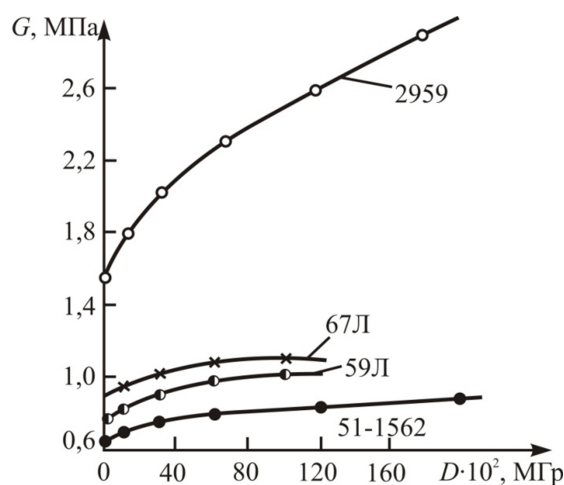


Рис. 1 – Зависимость динамического модуля сдвига от дозы облучения для резин различных марок

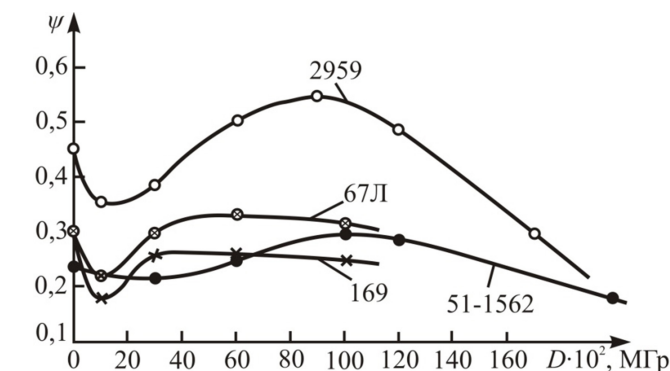


Рис. 2 – Зависимость коэффициента диссипации энергии от дозы облучения для резин различных марок

$$\begin{aligned}\psi(D) &= \exp(aD^2 + bD + c), \\ G(D) &= A \exp(\alpha D),\end{aligned}\quad (2)$$

где A, α, a, b, c – постоянные коэффициенты.

Для расчета долговечности резиновых конструкций, работающих в условиях воздействия ионизирующих излучений будем применять энтропийный критерий разрушения.

Критериальное уравнение с учетом действия агрессивной внешней среды имеет вид

$$\Delta S^* = \int_0^{t^*} \frac{1}{T} \left(T_\sigma : \dot{T}_\varepsilon^p - \frac{df}{dG} \dot{G} + \dot{\chi} \pm \dot{q} \right) dt, \quad (3)$$

где t^* – момент времени разрушения системы;

$\dot{\chi}$ – плотность энергии, которая поглощена системой, в результате активного воздействия внешней среды;

G – модуль упругости материала;

T – абсолютная температура;

q – количество тепла;

f – функция состояния системы.

Температурное поле в образцах будем считать стационарным. Также будем учитывать, что работа напряжений для замкнутого пути деформирования равна нулю, т.е.

$$\int_0^{t^*} T_\sigma : \dot{T}_\varepsilon^e dt = 0. \quad (4)$$

Критерий (3) приводим к следующему виду:

$$T \Delta S^* = \int_0^{t^*} \left(T_\sigma : \dot{T}_\varepsilon + \dot{\chi} - \frac{\partial f}{\partial G} \dot{G} - \dot{q} \right) dt, \quad (5)$$

(знак «–» при q указывает на то, что в системе происходит отвод тепловой энергии).

Принимаем, что механическое поведение стареющего материала описывается реологическим соотношением в такой форме:

$$\sigma(t) = G_0 \left(\gamma(t) - \int_{-\infty}^t K(t, t - \tau) \gamma(\tau) d\tau \right), \quad (6)$$

где $K(t, t - \tau) = \varphi(t) \cdot K(t - \tau)$;

$K(t - \tau)$ – ядро Ю.Н. Работнова.

Тогда, используя это соотношение, а также закон деформирования образцов, и, рассматривая случай, когда допустимо пренебречь изменением реологических характеристик резины за время одного цикла деформирования, первый интеграл в уравнении (5) можно преобразовать к следующему виду:

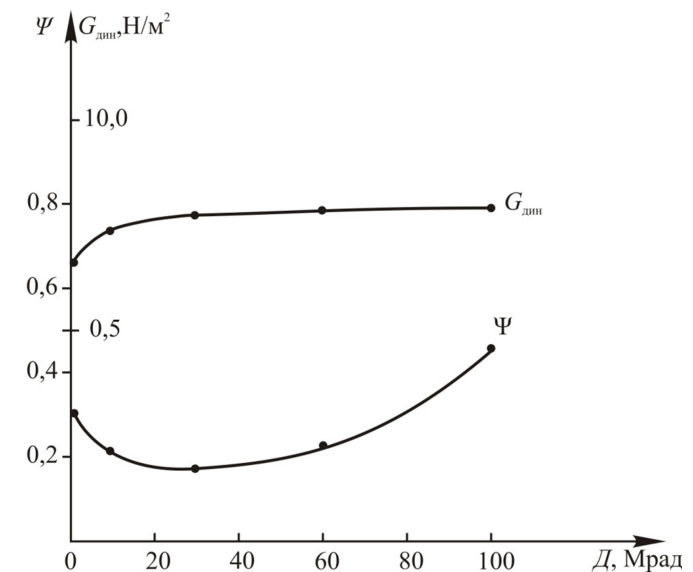


Рис. 3 – Зависимости динамического модуля упругости G и технического коэффициента поглощения энергии ψ резины 51-1562 от дозы облучения D

$$\int_0^{t^*} T_{\sigma} : \dot{T}_{\varepsilon} dt = \sum_{n=1}^{n^*} \frac{G_0 \gamma_0^2}{2} \psi(n), \quad (7)$$

где G_0 – мгновенный модуль сдвига резины;

$n^* = \frac{\omega}{2\pi} t^*$ – число циклов деформирования до разрушения образца;

$\psi(n)$ – технический коэффициент поглощения энергии.

Вычислим второй интеграл в уравнении (5).

Поглощенная за время dt массой m вещества энергия излучения $d\chi$ определяется поглощенной дозой излучения dD :

$$d\chi = m dD. \quad (8)$$

Последняя, как известно [7], пропорциональна воздействию потоку излучения $d\Phi$:

$$dD = \alpha d\Phi, \quad (9)$$

где α – величина поглощенной дозы на единичный поток излучения, табличная характеристика материала.

Объединяя (8), (9), а также известное определение интенсивности потока излучения

$$\frac{d\Phi}{dt} = I(x, y, z, t),$$

Находим

$$d\chi = dm I dt. \quad (10)$$

Тогда плотность поглощенной энергии излучения

$$d\chi = \alpha \frac{m}{V} I dt,$$

или

$$\dot{\chi} = \alpha \frac{m}{V} I. \quad (11)$$

Таким образом

$$\int_0^{t^*} \dot{\chi} dt = \int_0^{t^*} \alpha \frac{m}{V} I(x, y, z, t) dt. \quad (12)$$

На основании существующих литературных данных [8-10] функцию плотности свободной энергии, стоящую в третьем интеграле уравнения (5) представим в виде

$$f = \frac{1}{2} T_{\varepsilon} : G : T_{\varepsilon} + (T - T_0) A : T_{\varepsilon} + f(T_{\varepsilon}^P, T). \quad (13)$$

С учетом этого

$$\int_0^{t^*} \frac{\partial f}{\partial G} \dot{G} dt = \frac{1}{2} \int_0^{t^*} (T_{\varepsilon})^2 \dot{G} dt. \quad (14)$$

Вследствие стационарности температурного поля в образце, а, следовательно, и стационарности теплового потока, четвертый интеграл в уравнении (5) преобразуется к виду

$$\int_0^{t^*} \dot{q} dt = \frac{2\pi}{\omega} \dot{q} n^*. \quad (15)$$

Тепловой поток может быть рассчитан по определенному экспериментальному распределению температуры в образце. Решение стационарного уравнения теплопро-

водности с внутренними источниками тепла для призматических элементов сдвига дает следующую связь между ними

$$\dot{q} = \frac{2KB}{\ell bh} \left(\frac{Hbh}{2 + H\ell} + \frac{H\ell h}{2 + Hb} + \frac{H_1 \ell b}{2 + H_1 h} \right), \quad (16)$$

где

$$B = \frac{\Delta T(x, y, z)}{1 - \frac{Hx^2}{\ell(2 + H\ell)} - \frac{Hy^2}{b(2 + Hb)} - \frac{H_1 z^2}{h(2 + H_1 h)}},$$

где K – коэффициент теплопроводности резины;
 H – коэффициент теплообмена резина-воздух;
 H_1 – коэффициент теплообмена резина-металл;
 ℓ, b, h – размеры призматического элемента сдвига;
 $\Delta T(x, y, z)$ – приращение температуры в точке (x, y, z) .

Подставляя теперь соотношения (7), (12), (15), (16) в уравнение (5), находим

$$T\Delta S^* = \frac{G_0 \gamma_0^2}{2} \sum_{n=1}^{n^*} \psi(n) + \alpha \frac{m}{V} \int_0^{t^*} I(x, y, z, t) dt - \frac{1}{2} \int_0^{t^*} (T_\varepsilon)^2 \dot{G} dt - \frac{2\pi}{\omega} \dot{q} n^*. \quad (17)$$

Это уравнение позволяет рассчитать количество циклов до разрушения n^* , или время до разрушения $t^* = \frac{2\pi}{\omega} n^*$ призматического резино-металлического элемента сдвига, если найдены экспериментально функции $\psi(n)$ и $G(t)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потураев, В.Н. Прикладная механика резины [Текст] / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, И.И. Круш. – К.: Наукова думка, 1980. – 260 с.
2. Кузьминский, А.С. Стойкость резин к действию ионизирующих излучений [Текст] / А.С. Кузьминский, Е.В. Журавская // Хим. наука и пром-сть. – 1959. – Вып. 4. – С. 89-95.
3. Чарльзби, А.В. Ядерные излучения и полимеры [Текст] / А.В. Чарльзби. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 593 с.
4. Кузьминский, А.С. Радиационная химия полимеров [Текст] / А.С. Кузьминский. – М.: Наука, 1966. – С. 238-242.
5. Харрингтон, Р. Химия и технология полимеров [Текст] / Р. Харрингтон. – М.: Наука, 1959. – 370 с.
6. Дырда, В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях [Текст] / В.И. Дырда. – К.: Наукова думка, 1988. – 232 с.
7. Влияние ионизирующих излучений на статические и динамические свойства резин, применяемых для изготовления амортизаторов: справочное пособие [Текст]. – М.: НИИРП, 1990. – 60 с.
8. Ландау, Л.Д. Теория упругости [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1965. – 202 с.
9. Новацкий, В.И. Динамические задачи термоупругости [Текст] / В.И. Новацкий. – М.: Мир, 1970. – 256 с.
10. Гольденблат, И.И. Нелинейные проблемы теории упругости [Текст] / И.И. Гольденблат. – М.: Наука, 1969. – 336 с.