

УДК 678.4.66:621.81

Гребенюк С.Н., канд. техн. наук
(ЗНУ МОН України),
Логинова А.А., аспірант
(ГВУЗ «НГУ» МОН України),
Решевская Е.С., канд. техн. наук, доцент
(ЗНУ МОН України),
Дырда В.И., д-р техн. наук, професор,
Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН України)

РАЗРУШЕНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИТ ГРОХОТОВ В УСЛОВИЯХ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Гребенюк С.М., канд. техн. наук
(ЗНУ МОН України),
Логінова А.О., аспірант
(ДВНЗ «НГУ» МОН України)
Решевська К.С., канд. техн. наук, доцент
(ЗНУ МОН України),
Дирда В.І., д-р техн. наук, професор,
Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співроб.
(ИГТМ НАН України)

РУЙНУВАННЯ ЕЛАСТОМЕРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИТ ГРОХОТІВ В УМОВАХ НЕЛІНІЙНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Grebenyuk S.N., Ph. D. (Tech.)
(ZNU MES of Ukraine),
Loginova A.A., Doctoral Student
(SHEI «NMU» MES of Ukraine),
Reshevskaya K.S., Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(ZNU MES of Ukraine),
Dyrda V.I., D. Sc. (Tech.), Professor,
Shevchenko V.G., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

DESTRUCTION OF ELASTOMERIC ELEMENTS IN THE SCREEN SIEVES UNDER NONLINEAR DEFORMATION

Аннотация. Исследована проблема разрушения эластомерных элементов сит грохотов, используемых в горной промышленности. В качестве метода исследования используется модификация метода конечных элементов – моментная схема конечного элемента для слабосжимаемых материалов, которая позволяет получать адекватные решения для эластомеров.

Описан итерационный подход к определению напряженно-деформированного состояния эластомерных конструкций в условиях линейного упругого и вязкоупругого, геометрически нелинейного упругого и вязкоупругого деформирования. Определено напряженно – деформированное состояние ленты-струны при наличии в конструкции трещины. Получено распределение параметров механики разрушения, таких как величина раскрытия трещины и значения J -интеграла, вдоль фронта трещины с учетом нелинейного деформирования. Полученные результаты позволяют со значительно большей точностью прогнозировать долговечность эластомерных элементов сит, что повышает надежность работы грохотов, эффективность грохочения и качество просеивания.

Ключевые слова: эластомерные элементы сит грохотов, напряженно-деформированное состояние, нелинейное деформирование, трещина, распределение параметров разрушения, долговечность, эффективность грохочения и качество просеивания.

На современных предприятиях цветной и черной металлургии, в угольной промышленности и промышленности строительных материалов широко используются конструкции сит с просеивающими поверхностями из эластомеров. Они применяются как для мокрого, так и сухого грохочения. Подобные элементы обладают долговечностью, меньше забиваются и значительно снижают шум.

Однако применение традиционных эластомерных сит не лишено недостатков по сравнению с проволочной сеткой. Из-за большей площади сечения эластомерных элементов снижается эффективности грохочения, за счет деталей крепления уменьшается рабочая площадь, а за счет увеличения толщины эластомерных сит ухудшается качество просеивания.

С целью устранения перечисленных недостатков применяются резонирующие ленточно-струнные сита (РЛСС), которые позволяют повысить производительность и эффективность грохочения, а в некоторых случаях и превзойти получаемые результаты при использовании эквивалентных проволочных сит. Кроме того, срок службы резонирующих ленточно-струнных сит увеличился в сравнении с традиционными типами (до 2000 часов) и составляет не меньше 4000 часов, а в отдельных случаях без ухудшения технологических показателей достигает 7000-8000 часов.

Ленточно-струнное сито состоит из просеивающей поверхности в виде эластомерных резонирующих элементов (рис.1), установленных перпендикулярно направлению движения материала и закрепленных с предварительным натяжением.

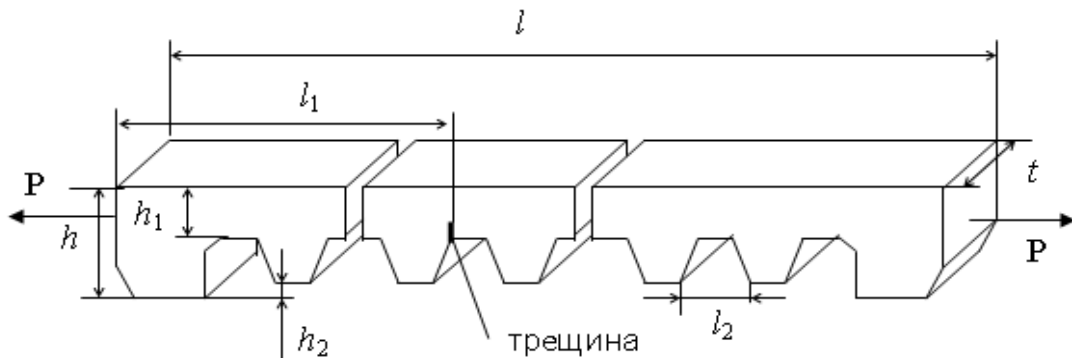


Рисунок 1 - Лента-струна

Рациональный выбор параметров ленты-струны (размеры, марка резины и т.д.) невозможен без адекватного определения напряженно-деформированного состояния. При расчете конструкций из эластомерных материалов необходимо учитывать специфические свойства материала, такие как слабая сжимаемость, нелинейность деформаций и другие. Большинство эластомерных материалов относятся к вязкоупругим средам с ярко выраженными наследственными свойствами. Кроме того, при исследовании эластомерных конструкций, зачастую необходим учет наличия трещин в них, который обусловлен как недостатками технологии изготовления, так и влиянием силовых и температурных нагрузок в процессе эксплуатации [1].

Одним из наиболее универсальных методов расчета пространственных конструкций в условиях сложного нагружения является метод конечных элементов, а для эластомерных материалов целесообразно применять его модификацию – моментную схему конечного элемента для слабосжимаемых материалов [2]. Рассмотрим подходы к решению нелинейных задач этим методом.

Алгоритм определения параметров механики разрушения в условиях нелинейного вязкоупругого деформирования.

Нелинейные задачи вязкоупругости обычно сводятся к последовательности линейных с помощью итерационных алгоритмов. Воспользуемся одним из таких методов – модифицированным методом Ньютона-Канторовича. При решении геометрически и физически нелинейных задач в сочетании с модифицированным методом Ньютона-Канторовича будем использовать метод интегрирования по параметру нагрузки либо параметру перемещения характерных точек конструкции с проверкой уравнений равновесия.

Рассмотрим работу шагового алгоритма решения задач вязкоупругости, если параметром спуска является значение нагрузки P .

1. На n -ом шаге нагружения по координатам узлов сеточной области $\{x_i^{(n-1)}\}$ конструкции вычисляем матрицу жесткости линеаризованной системы $[K_{(n)}^*]$.

2. Определяем текущее значение нагрузки по формуле

$$P_{(n)} = P_{(n-1)} + \Delta P_{(n)}. \quad (1)$$

На первом шаге, при $n=1$, алгоритм продолжает работу с пункта 4.3, где в качестве вектора узловых невязок $\{R_{(n)}^{(k)}\}$ принимают вектор узловых нагрузок $\{P_{(n)}^{(k)}\}$, где k – номер итерации.

3. Находим начальное приближение искомого решения $\{\Delta u_{(n)}^{(1)}\}$, используя формулу вида:

$$\{u_{(n)}^{(1)}\} = \{u_{(n-1)}\} \frac{\Delta P_{(n)}}{\Delta P_{(n-1)}}. \quad (2)$$

4. Реализация итерационного алгоритма решения задачи упругости.

4.1. Приближенное значение $\{u_{(n)}^{(k)}\}$ подставляем в уравнение:

$$\sigma^{ij} = 2\mu(g^{ki}g^{lj}\varepsilon_{kl}^{(l)} - \frac{1}{3}J_1^{(l)}g^{ij}) + BJ_1^{(l)}g^{ij} + 2\mu(g^{ki}g^{lj}\varepsilon_{kl}^{(n)} - \frac{1}{3}J_1^{(n)}g^{ij}) + BJ_1^{(n)}g^{ij}, \quad (3)$$

где ε_{kl} – тензор деформаций, J_1 – первый инвариант тензора деформаций, μ – постоянная Ляме, B – модуль объемного сжатия, g^{ij} – метрический тензор. Индексы «л» и «н» обозначают линейную и нелинейную составляющие соответственно.

Определяем вектор узловых невязок $\{R_{(n)}^{(k)}\}$, обусловленный нелинейными составляющими и численной характеристикой которого является сумма квадратов компонент узловых невязок $\{R_{(n)}^{*(k)}\}$, позволяющая судить о сходимости получаемых решений.

4.2. Анализируем значение вектора узлий $\{R_{(n)}^{(k)}\}$ удовлетворяет исходным уравнением с заданной степенью точности ε , имеет вид:

$$\{R_{(n)}^{*(k)}\} < \{P_{(n)}^*\} \varepsilon. \quad (4)$$

Если условие (4) выполняется, то алгоритм продолжает свою работу с пункта 5. Если это условие не выполняется, то алгоритм переходит к выполнению следующего пункта 4.3.

4.3. Вектор невязок $\{R_{(n)}^{(k)}\}$ принимаем за дополнительную нагрузку и подставляем в правую часть линеаризированной системы уравнений:

$$[K_{(n)}^*] \{\Delta u_{(n)}^{(k)}\} = \{R_{(n)}^{(k)}\}$$

4.4. Решаем систему линеаризованных уравнений и находим вектор перемещений $\{\Delta u_{(n)}^{(k)}\}$, который затем суммируем с вектором $\{u_{(n)}^{(k)}\}$:

$$\{u_{(n)}^{(k+1)}\} = \{u_{(n)}^{(k)}\} + \{\Delta u_{(n)}^{(k)}\}. \quad (5)$$

4.5. Номеру итерации присваивается значение $k:=k+1$ и алгоритм повторяет операции, начиная с пункта 4.1.

5. Пересчитываем напряженное и деформированное состояние, а также координаты узлов сеточной области конструкции, соответственно, по формулам:

$$\{\varepsilon_{ij}^{(n)}\} = \{\varepsilon_{ij}^{(n-1)}\} + \{\Delta\varepsilon_{ij}^{(n)}\}; \quad (6)$$

$$\{\sigma_{ij}^{(n)}\} = \{\sigma_{ij}^{(n-1)}\} + \{\Delta\sigma_{ij}^{(n)}\}; \quad (7)$$

$$\{z_{i'}^{(n)}\} = \{z_{i'}^{(n-1)}\} + \{u_{i'}^{(n)}\}. \quad (8)$$

Проводим суммирование параметров механики разрушения – компонент J -интеграла и интенсивности высвобождения энергии:

$$\{J_m^{(n)}\} = \{J_m^{(n-1)}\} + \{\Delta J_m^{(n)}\}, (m=1,2). \quad (9)$$

Проверяется критерий разрушения, и если он не выполняется, то длина трещины увеличивается на величину Δl и алгоритм начинает свою работу сначала, с пункта 1.

6. Проверяем, достиг ли параметр спуска максимального (задаваемого) значения

$$P_{(n)} = P_{\max}. \quad (10)$$

Если условие (10) выполняется, то в случае решения упругой задачи алгоритм завершает свою работу. При решении задачи вязкоупругости в геометрически линейной постановке алгоритм продолжает свою работу с пункта 9, при решении задачи в геометрически нелинейной постановке – с пункта 8. Если же условие (10) не выполняется, то алгоритм переходит к выполнению следующей операции.

7. Номеру шага присваиваем значение $n := n+1$. Алгоритм начинает выполнение операций с пункта 1 при решении задачи в геометрически нелинейной постановке, и с пункта 2 при решении задачи в геометрически линейной постановке.

8. На m -ом шаге по времени по известным значениям вектора перемещений $\{u_i^{(m-1)}\}$, компонент тензора напряжений $\{\sigma_{ij}^{(m-1)}\}$, координат узлов сеточной области $\{x_i^{(m-1)}\}$ конструкции вычисляют матрицу жесткости линеаризованной системы уравнений $[K_{(m)}^*]$.

9. Реализация итерационного алгоритма решения задачи вязкоупругости.

9.1. Для момента времени $t_{(m)} = t_{(m-1)} + \Delta t_{(m)}$ вычисляем вектор дополнительной нагрузки $\{Q_{(m)}^{(kl)}\}$ как функцию $\{u_{(m)}^{(kl-1)}\}$ и $t_{(m)}$. При $kl=1$ в качестве $\{u_{(m)}^{(0)}\}$ берется распределение перемещений, полученное на предыдущей $(m-1)$ -ой итерации. На первой итерации по времени, когда $m=1$, в качестве $\{u_{(m)}^{(0)}\}$ берется упругое решение, которому соответствует $t_{(0)} = 0$ и $\{Q_{(0)}^{(0)}\} = 0$.

9.2. Анализируем значения вектора дополнительной нагрузки $\{Q_{(m)}^{(kl)}\}$.
Условие, при котором считается, что вектор перемещений $\{u_{(m)}^{(kl-1)}\}$ удовлетворяет исходным уравнениям с заданной степенью точности ε имеет вид:

$$\left\{ Q_{(m)}^{*(kl)} \right\} \prec \left\{ P_{(n)}^* \right\} \varepsilon, \quad (11)$$

где $\left\{ Q_{(m)}^{*(kl)} \right\}$ – сумма квадратов компонент вектора дополнительной нагрузки.

Если условие (11) выполняется, то алгоритм продолжает свою работу с пункта 10. Если это условие не выполняется, то алгоритм переходит к выполнению следующего пункта 9.3.

9.3. Вектор дополнительной нагрузки $\left\{ Q_{(m)}^{*(kl)} \right\}$ подставляем в правую часть линеаризованной системы уравнений.

9.4. Решаем систему линеаризованных уравнений и находим вектор перемещений $\left\{ \Delta u_{(m)}^{(kl)} \right\}$. Потом этот вектор суммируется

$$\left\{ u_{(m)}^{(kl)} \right\} = \left\{ u_{(m)}^{(kl-1)} \right\} + \left\{ \Delta u_{(m)}^{(kl)} \right\}. \quad (12)$$

9.5. Номеру итерации присваивается значение $kl := kl + 1$ и алгоритм повторяет операции, начиная с пункта 9.1.

10. На каждом шаге происходит запоминание и суммирование наследственных составляющих напряжений

$$\Delta \sigma_{ij}^{(m)} = 2\mu(\varepsilon_{ij}^{(m)} - \frac{1}{3}\theta^{(m)})R_m^*, \quad (13)$$

$$\sigma_{ij}^{(R)} = \sum_{m=1}^M \Delta \sigma_{ij}^{(m)}. \quad (14)$$

Производим суммирование параметров механики разрушения – компонент J-интеграла. Проверяется критерий разрушения, и если он не выполняется, то длина трещины увеличивается на размер Δl и алгоритм начинает свою работу сначала с пункта 1.

11. Проверяем, достигло ли текущее значение времени максимального (задаваемого) значения

$$t_{(m)} = t_{\max}. \quad (15)$$

Если условие (15) выполняется, то алгоритм завершает свою работу. Если же условие (15) не выполняется, то алгоритм переходит к выполнению следующей операции.

12. Номеру шага по времени присваивается значение $m := m + 1$. Алгоритм начинает выполнение операций с пункта 8 при решении задачи в геометрически нелинейной постановке, и с пункта 9 при решении задачи в геометрически линейной постановке.

При решении задачи вязкоупругости в случае, когда параметром спуска является перемещение, алгоритм решения аналогичен представленному, за исключением некоторых пунктов.

Приращение параметра нагрузки $\Delta P_{(n)}$ (пункт 2) вычисляем по заданным перемещениям характерных узлов из условия их равновесия. Перемещение других узлов конструкции в начальном приближении (пункт 3) находят по формуле

$$\{\Delta u_{(n)}^{(1)}\} = u_k^{i'} \{u_{u_k=1}\} + \Delta P_{(n)} \{u_{p=1}\}, \quad (16)$$

где $\{u_{u_k=1}\}, \{u_{p=1}\}$ – векторы узловых перемещений конструкции при вынужденном единичном смещении и единичной нагрузке соответственно.

Пункт 6 предложенного алгоритма для характерных узлов конструкции приобретет вид:

$$\{u_k^{i'}\}_{(n)} = \{u_k^{i'}\}_{\max}. \quad (17)$$

Остальные пункты алгоритма аналогичны описанным выше.

Расчет численных значений параметров напряженно-деформированного состояния и параметров механики разрушения эластомерного элемента сит грохотов. Рассмотрим ленту-струну со следующими размерами: $l=0,382$ м, $l_1=0,186$ м, $l_2=0,016$ м, $h=0,013$ м, $h_1=0,005$ м, $h_2=0,001$ м, $t=0,026$ м (рис. 1). Марка резины – 2959. В качестве ядра релаксации используем ядро Ю.Н. Работнова. Реологические параметры ядра Ю.Н. Работнова для данной марки резины: $\alpha = -0,6$; $\beta = 1,062 c^{\alpha-1}$; $\chi = 0,64 c^{\alpha-1}$ [4, 5]. Модуль сдвига $G_0 = 1,76 \times 10^6$ Па, $\nu = 0,49$.

При расчете сначала моделируется монтажное растяжение в продольном направлении, а затем прикладывается распределенная нагрузка к рабочей (верхней) поверхности ленты-струны.

Анализ рассчитанных значений растягивающих напряжений показал область максимальных напряжений, возникающих в ленте-струне в процессе ее эксплуатации. В найденном месте смоделируем трещину (рис. 2). Наличие концентратора напряжений – вершины трещины – приводит к перераспределению растягивающих напряжений, полутонное изображение которых около вершины трещины представлено на рис. 2.

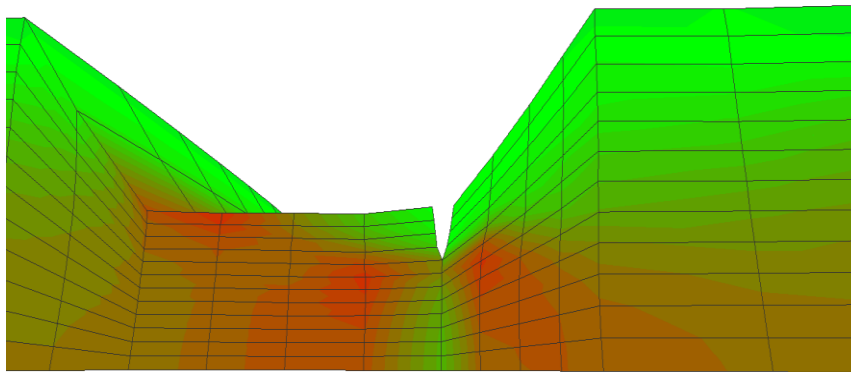


Рисунок 2 – Растягивающие напряжения около вершины трещины

Параметры механики разрушения (раскрытие трещины и величина J -интеграла) получены как в линейной (упругой и вязкоупругой), так и в нелинейной (упругой и вязкоупругой) постановке при максимальном прогибе (рис.3).

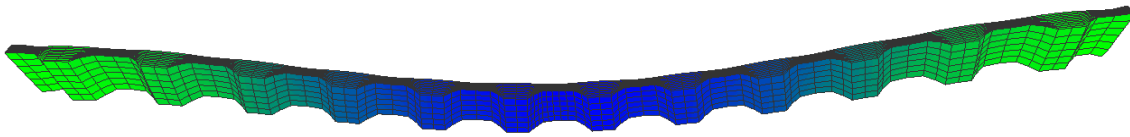


Рисунок 3 – Прогиб ленты струны

На рис. 4 представлено изменение величины раскрытия трещины по высоте ленты.

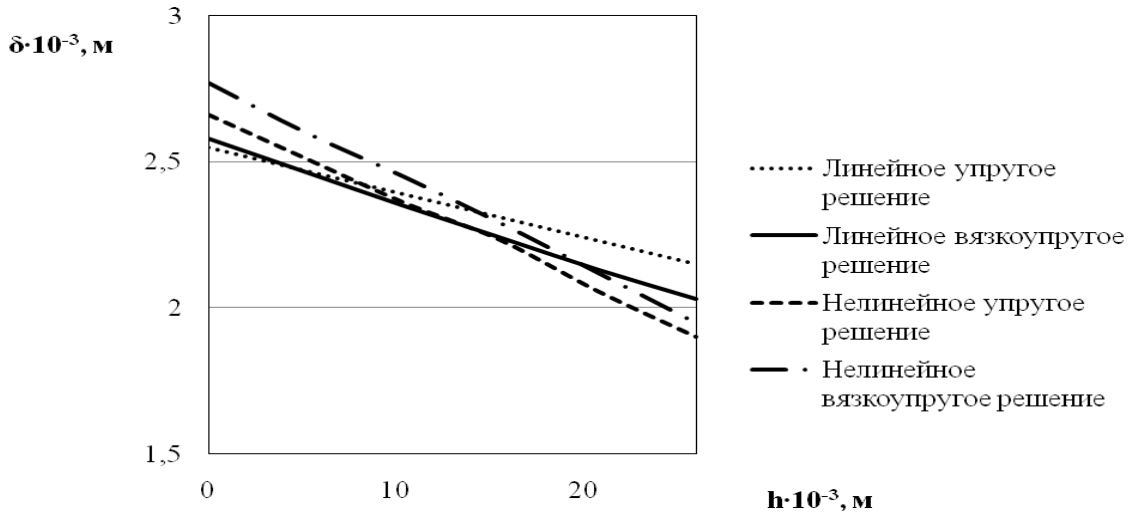


Рисунок 4 – Раскрытие трещины (линейное и нелинейное решение)

Распределение величины J-интеграла по высоте ленты-струны вдоль фронта трещины изображено на рис. 5.

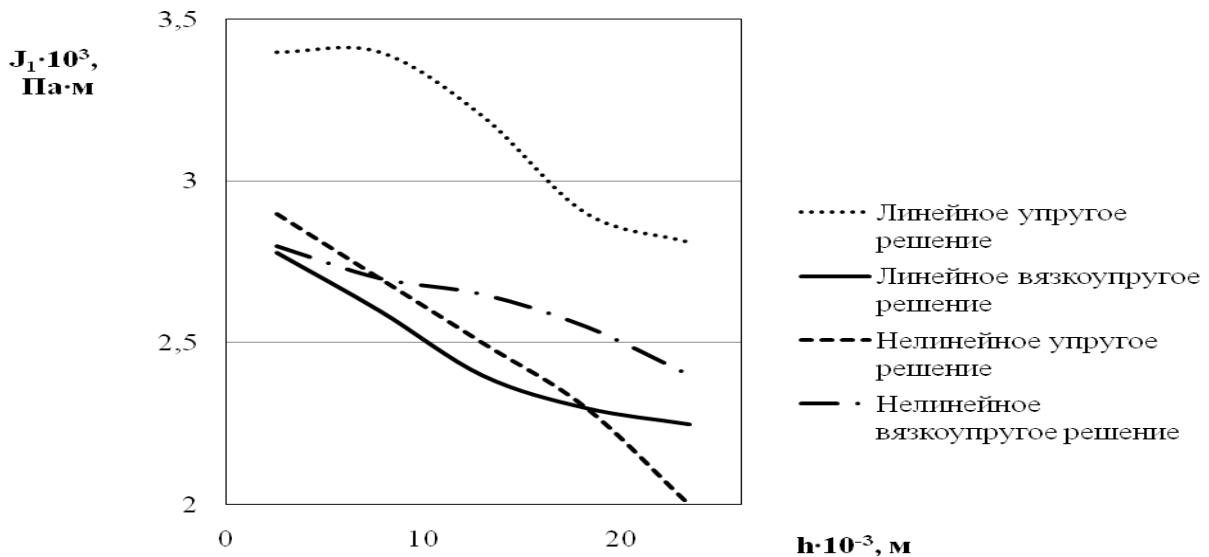


Рисунок 5 – Величина J-интеграла

Можно заметить, что, как и ожидалось, максимальные значения параметров механики разрушения наблюдаются в нижней части ленты-струны, где возникают максимальные растягивающие напряжения.

Полученные теоретические результаты по распределению параметров механики разрушения эластомерных элементов сит грохотов, а именно – величины раскрытия трещины, полученную при линейной и нелинейной

упругой (вязкоупругой) постановках задач, имеет разброс значений порядка 20-25 %, а распределение величины J-интеграла вдоль фронта трещины имеет качественные различия, при этом линейное упругое решение дает значительно завышенный результат (до 50 %) в сравнении с другими постановками задачи. Полученные результаты позволяют со значительно большей точностью прогнозировать долговечность эластомерных элементов сит, что в конечном итоге дает возможность повысить надежность работы грохотов, эффективность грохочения и качество просеивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дырда, В.И. Аналитические и численные методы расчета резиновых деталей: монография / В.И. Дырда, С.Н. Гребенюк, С.И. Гоменюк. – Днепропетровск-Запорожье: Запорожский национальный университет, 2012. – 370 с.
2. Киричевский, В.В. Метод конечных элементов в механике эластомеров / В.В. Киричевский. – К.: Наук. думка, 2002. – 655 с.
3. Гребенюк, С.Н. Термомеханические параметры разрушения вязкоупругих элементов сит грохотов / С.Н. Гребенюк, Б.М. Дохняк, Р.В. Киричевский, В.В. Киричевский // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ: вид-во СУДУ. – 1999. – № 3. – С.76-81.
4. Прикладная механика упруго-наследственных сред. Т. 1. Механика деформирования и разрушения эластомеров / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – К.: Наукова думка, 2011. – 568 с.
5. Прикладная механика упруго-наследственных сред. Т. 2. Методы расчета эластомерных деталей / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – К.: Наукова думка, 2012. – 616 с.

REFERENCES

1. Dyrda, V.I., Grebenyuk, S.N. and Gomenyuk, S.I. (2012), *Analytical and numerical methods of calculation of rubber details*. [Analytical and numeral methods of calculation of rubber details], Zaporizhzhya National University., Dnepropetrovsk-Zaporozhye:UA.
2. Kirichevskiy, V.V. (2002), *Method of eventual elements in mechanics of elastomerov*. [Method of eventual elements in mechanics of elastomerov], Naukova dumka, Kiev, UA.
3. Grebenyuk, S.N. (1999), «Thermomechanical parameters of destruction of viscous-elastic elements of sieves of screens», *Visnik Skhidnoukrainskogo derzhavnogo universitetu*. - № 3. - Pp. 76-81.
4. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zvyagilskiy, Ye.L. and Kobets, A.S. (2011), *Prikladnaya mekhanika uprugogo-nasledstvennykh sred. Tom 1. Mehanika deformirovaniia i razrusheniia elastomerov*. [Applied mechanics of the resiliently-inherited environments. Tom 1. Mechanics of deformation and destruction of elastomers], Naukova dumka, Kiev, UA.
5. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zviagilskii, E.L. and Kobets, A.S. (2012), *Prikladnaya mekhanika uprugogo-nasledstvennykh sred. Tom 2. Metody rascheta elastomernykh detalei*. [Applied mechanics of the resiliently-inherited environments. Tom 2. Methods of calculation of elastomers details], Naukova dumka, Kiev, UA.

Об авторах

Гребенюк Сергей Николаевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой математического анализа Запорожского национального университета МОН Украины (ЗНУ МОН Украины), Запорожье, Украина, mf@znu.edu.ua

Логина Анастасия Александровна, магистр, аспирант, ГВУЗ «Национальный горный университет» МОН Украины (ГВУЗ «НГУ» МОН Украины), Днепропетровск, Украина, anastasiia.loginova.nmu@gmail.com

Решевская Екатерина Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Запорожского национального университета МОН Украины (ЗНУ МОН Украины), Запорожье, Украина, mf@znu.edu.ua

Дырда Виталий Илларионович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, vita.igtm@gmail.com

Шевченко Владимир Георгиевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, V.Shevchenko@nas.gov.ua

About the authors

Grebenyuk Sergey Nikolajevich., Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Head of the Department of Mathematical Analysis in Zaporizhzhya National University MES of Ukraine (ZNU MES of Ukraine), Zaporizhzhya, Ukraine, mf@znu.edu.ua.

Loginova Anastasiya Alexandrovna, Master of Science, Doctoral Student, National Mining University State Higher Educational Institution MES of Ukraine (SHEI «NMU» MES of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, anastasiia.loginova.nmu@gmail.com.

Reshevskaya Yekaterina Sergeevna., Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor of Information Technologies in Zaporizhzhya National University MES of Ukraine (ZNU MES of Ukraine), Zaporizhzhya, Ukraine, mf@znu.edu.ua.

Dyrda Vitaly IarionovichI., Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, vita.igtm@gmail.com.

Shevchenko Vladimir Georgijevich., Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Анотація. Досліджено проблему руйнування еластомірних елементів сит грохотів, що використовуються у гірничій промисловості. В якості методу дослідження використовується модифікація методу кінцевих елементів - моментна схема кінцевого елемента для слабкостискаємих матеріалів, що дозволяє одержувати адекватне рішення для еластомерів. Описано ітераційний підхід до визначення напружено-деформованого стану еластомірних конструкцій в умовах лінійного пружного і в'язкопружного, геометрично нелінійного пружного і в'язкопружного деформування. Визначено напружено-деформований стан стрічки-струни при наявності в конструкції тріщини. Отримано розподіл параметрів механіки руйнування, таких як величина розкриття тріщини та значення J-інтегралу, уздовж фронту тріщини з урахуванням нелінійного деформування. Отримані результати дозволяють зі значно більшою точністю прогнозувати довговічність еластомірних елементів сит, що підвищує надійність роботи грохотів, ефективність грохочення і якість просівання.

Ключові слова: еластомірні елементи сит грохотів, напружено-деформований стан, нелінійне деформування, тріщина, розподіл параметрів руйнування, довговічність, ефективність грохочення і якість просівання.

Abstract. Destruction of elastomeric elements in the screen sieves used in the mining industry was studied with the help of modified finite element method - a torque scheme of finite element for weakly compressible material - which helps obtaining an adequate technical solution for elastomers.

The article presents an iterative approach to determining the stress-strain state of elastomeric structures under the linear elastic and viscoelastic deformation and geometrically nonlinear elastic and viscoelastic deformation. The string-ribbon stress-strain state was determined by availability of fractures in their structure. Distribution of fracture mechanics parameters, such as rate of the fracture opening and rate of the J-integral, along the fracture front was specified with taking into account nonlinear deformation. The obtained results help predicting much more accurately working life of the sieve elastomeric elements and, consequently, improving the screen reliability, screening efficiency and sieving quality.

Keywords: elastomeric elements of the screen sieve, stress-strain state, nonlinear deformation, fracture, distribution of fracture parameters, working life, screening efficiency and sieving quality.

Стаття поступила в редакцію 1.02.2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Шевченко Г.А.