

ISSN 2518-170X (Online),
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
Satbayev University

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Satbayev University

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Satbayev University

**SERIES
OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

6 (444)

NOVEMBER – DECEMBER 2020

THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of geology and technical sciences scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of geology and technical sciences in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of geology and engineering sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді геология және техникалық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по геологии и техническим наукам для нашего сообщества.

Б а с р е д а к т о р ы
э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі

И.К. Бейсембетов

Бас редакторының орынбасары
Жолтаев Г.Ж. проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Абаканов Т.Д. проф. (Қазақстан)
Абишева З.С. проф., академик (Қазақстан)
Абсадықов Б.Н. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Агабеков В.Е. академик (Беларусь)
Алиев Т. проф., академик (Әзірбайжан)
Бакиров А.Б. проф., (Қырғызстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Қазақстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Тәжікстан)
Грэвис Р.М. проф. (АҚШ)
Жарменов А.А. проф., академик (Қазақстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Ресей)
Курскеев А.К. проф., академик (Қазақстан)
Курчавов А.М. проф., (Ресей)
Медеу А.Р. проф., академик (Қазақстан)
Мұхамеджанов М.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Қазақстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (АҚШ)
Штейнер М. проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде
29.07.2020 ж. берілген № **KZ39VPY00025420** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *геология және техникалық ғылымдар бойынша мақалалар жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2020

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыр көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «NurNaz GRACE», Алматы қ., Рысқұлов көш., 103.

Г л а в н ы й р е д а к т о р
д. э. н., профессор, академик НАН РК

И. К. Бейсембетов

Заместитель главного редактора
Жолтаев Г.Ж. проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Абаканов Т.Д. проф. (Казахстан)
Абишева З.С. проф., академик (Казахстан)
Абсадыков Б.Н. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Агабеков В.Е. академик (Беларусь)
Алиев Т. проф., академик (Азербайджан)
Бакиров А.Б. проф., (Кыргызстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Казахстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Таджикистан)
Грэвис Р.М. проф. (США)
Жарменов А.А. проф., академик (Казахстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Россия)
Курскеев А.К. проф., академик (Казахстан)
Курчавов А.М. проф., (Россия)
Медеу А.Р. проф., академик (Казахстан)
Мухамеджанов М.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Казахстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (США)
Штейнер М. проф. (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ39VPY00025420**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *публикация статей по геологии и технических наукам.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2020

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.
Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: «NurNaz GRACE», г. Алматы, ул. Рыскулова, 103.

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, academician of NAS RK

I. K. Beisembetov

Deputy editor in chief

Zholtayev G.Zh. prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

Abakanov T.D. prof. (Kazakhstan)
Abisheva Z.S. prof., academician (Kazakhstan)
Absadykov B.N. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Agabekov V.Ye. academician (Belarus)
Aliyev T. prof., academician (Azerbaijan)
Bakirov A.B. prof., (Kyrgyzstan)
Buktukov N.S. prof., academician (Kazakhstan)
Bulat A.F. prof., academician (Ukraine)
Ganiyev I.N. prof., academician (Tadjikistan)
Gravis R.M. prof. (USA)
Zharmenov A.A. prof., academician (Kazakhstan)
Kontorovich A.Ye. prof., academician (Russia)
Kurskeyev A.K. prof., academician (Kazakhstan)
Kurchavov A.M. prof., (Russia)
Medeu A.R. prof., academician (Kazakhstan)
Muhamedzhanov M.A. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Ozdoyev S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Postolatii V. prof., academician (Moldova)
Stepanets V.G. prof., (Germany)
Humphery G.D. prof. (USA)
Steiner M. prof. (Germany)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. KZ39VPY00025420**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *publication of papers on geology and technical sciences.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2020

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev

69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: «NurNaz GRACE», 103, Ryskulov str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 6, Number 444 (2020), 68 – 74

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.132>

UDC 539.3

IRSTI 67.17.15

**V. I. Dyrda¹, M. I. Lysytsia¹, V. A. Lapin², H. M. Ahaltsov¹,
Ye. V. Kalhankov³, O. V. Tolstenko³, O. A. Chernii³**

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov
of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine;

²Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture, Almaty, Kazakhstan;

³Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine.

E-mail: vita.igtm@gmail.com, lisitsa.n.i@gmail.com, lapin_1956@list.ru, ag.gena@gmail.com,
kalhankov.ye.v@dsau.dp.ua, info@dsau.dp.ua, sanek20.1984@gmail.com

**DYNAMICS OF HEAVY VIBRATING MACHINES TAKING
INTO ACCOUNT INSTABILITY IN TIME
OF THEIR PARAMETERS**

Abstract. Underground mining of uranium ores consists of several technological processes, one of the most important of which is the release of broken rock from the working excavation zone and loading it into transportation vehicles. The issue of increasing the intensity of production requires a simultaneous increase in the productivity of all production processes, including the production of mineral raw materials. At the same time, it is necessary to create both a high-performance and a safe process. This problem is successfully solved by the use of vibration machines with elastic links made of elastomeric materials, which, along with an increase in productivity, can reduce energy consumption and the number of freezes. An integrated approach was used, which includes analytical studies and results of industrial tests of vibratory feeders for underground mining and delivery of uranium ores and building materials. On the basis of the developed algorithm and synergistic model of fatigue microfracture of rubber links in vibratory feeder, mathematical equations were obtained, which made it possible to describe dynamics of feeders with time-depending parameters; when solving the integro-differential equation of the oscillatory system, the dependence of the amplitude characteristics of the feeder on the time of its operation is obtained. An original algorithm and synergistic model were developed, and on their basis, a mathematical apparatus was created, which allowed determining change of amplitude of vibratory feeder oscillations during its operation. On the basis of analytical calculations, a method was developed and introduced for predicting changes of parameters change of oscillation amplitudes of vibratory feeder used for underground mining and feeding of uranium ores.

Key words: vibratory feeder, vibrations, synergetic model, fatigue failure.

Introduction. During the long-term operation of mining machines, the physical and mechanical properties of elastic links based on elastomeric materials do not remain constant, but change significantly due to aging of the material from a long cyclic load or the action of an active external environment, for example, radiation fluxes. This leads to a change in the parameters of the machines themselves and the disruption of technological processes [1-5].

The presence of experimental data on changes in the basic mechanical properties of elastic links over time, such as shear modulus G and dissipation coefficient ψ for given loading conditions, significantly simplifies the calculation of vibratory machines. However, such experimental information is in most cases absent since to obtain it requires a variety of and fairly lengthy studies. Below we consider an algorithm that allows one to determine the mechanical characteristics with a minimum of experimental data, taking into account the microdestruction that develops in elastic links.

The purpose of the work is the development of a synergetic model and algorithm for calculating vibration feeders taking into account the instability in time of their parameters; confirmation of the analytical model by the results of industrial tests.

Method. In this paper, we consider the dynamics of heavy mountain vibrating feeders of the VOF type (vibrating ore feeders) working under the rubble for the production and delivery of uranium ores. Structurally, VOF vibrating feeders are a single-mass oscillatory system; prismatic rubber elements of the RMB type (rubber-metal blocks) serve as elastic links. During operation, such elements experience simple shear deformations; their physical and mechanical parameters are unstable in time: the shear modulus increases, and the dissipation coefficient decreases. Such a change is mainly associated with aging processes inherent in all elasto-hereditary materials, which include rubber [6-10].

The calculation algorithm described below uses the Walpole method developed for composite materials [11,12], which consists in the fact that the characteristics of the material are determined averaged by the characteristics of the main material, the characteristics of the material of the inclusions and depending on the concentration of these inclusions.

In our case, the main material is intact rubber, and the inclusion material is the microdestruction that develops in the main material.

It was previously shown [13] that for cases when instantaneous modulus \hat{G}'_0 of initially homogeneous material and elastic modulus of inclusions \hat{G}'_1 do not depend on time, and when inclusions in material are only of one type, then instantaneous value of effective moduli \hat{G}'_{ef} of non-uniform material, i.e. material with different inclusions, can be represented as:

$$\hat{G}'_{ef} = \hat{G}'_1 + (1-p)(\hat{G}'_0 - \hat{G}'_1) : \left[\hat{I} + p \left(\frac{\hat{G}'_0}{\hat{G}'_0 + \hat{G}'_1} \right)^{-1} : (\hat{G}'_0 - \hat{G}'_1) \right]^{-1}, \text{ Pa}, \quad (1)$$

where \hat{G}'_1 is tensor of inclusion elastic modulus, Pa; \hat{G}'_0 is isotropic tensor, which is connected with the tensor of the moduli \hat{G}'_0 of the material basic matrix by the known ratio [14], Pa; p is total concentration of inclusions in typical volume of material; \hat{I} is identity tensor.

Hence, value of \hat{G}'_{ef} can be obtained after determining \hat{G}'_1 and \hat{G}'_0 , and performing appropriate mathematical operations.

With the help of physical model of rubber fracturing [15] under the action of cyclic loading, we obtain ratio for effective modulus of the rubber in question, whose mechanical properties change significantly as a result of structuring processes: shear modulus increases, and dissipation factor decreases. It should be noted that in this paper, only one macroscopic characteristic of rubber is considered, namely, effective shear modulus. Despite availability of experimental data, it is impossible to take into account dependence of dissipative properties on developing fracture directly in the general algorithm because of absence of well-developed mathematical apparatus.

With taking into account experimental information mentioned above [15], let's accept the following synergistic model of fatigue fracture of rubber elements. Sample is a set of material points, each of them features the same properties as the source material. Process of accumulation and development of microfractures is interpreted as formation, in the initially homogeneous and isotropic material, of some areas with inclusions (areas containing fractures) with new properties, though identical in all areas.

When calculating the effective modulus, a number of assumptions is made; rubber in the initial state is homogeneous and isotropic; the modulus of the resulting inclusions is n times larger than the modulus of the base material; developing inclusions are mathematically characterized by a matrix of elastic moduli similar to the matrix of elastic moduli of the base material; the elastic modulus of the material inclusions is independent of time.

Taking into account the proposals made, and presenting the independent components of stress tensor in the form of a six-dimensional column matrix [16], matrix of elastic moduli \hat{G}'_0 can be written in the following way

$$\hat{G}'_0 = \begin{pmatrix} 2E/3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2E/3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2E/3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2E/3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2E/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2E/3 \end{pmatrix}, \text{ Pa,} \quad (2)$$

matrix of elastic moduli of microdamages can be written as

$$\hat{G}'_1 = \begin{pmatrix} 2En/3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2En/3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2En/3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2En/3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2En/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2En/3 \end{pmatrix}, \text{ Pa,} \quad (3)$$

where E is elastic modulus of medium, Pa.

To obtain the values of the moduli \hat{G}'_{ef} by the formula (1), it is necessary to determine all the tensor quantities included in this expression and perform the corresponding mathematical operations with them. So, the components of the tensor \hat{G}'_0 are presented in the form

$$G_{ijkl} = \frac{\mu(\lambda + 6\mu)}{3\lambda + 8\mu} \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{\mu(9\lambda + 14\mu)}{2(3\lambda + 8\mu)} (\delta_{il} \delta_{jk} + \delta_{jl} \delta_{ik}), \text{ Pa,} \quad (4)$$

and tensor itself has the following form

$$\hat{G}'_0 = \begin{pmatrix} 10E/9 & E/9 & E/9 & 0 & 0 & 0 \\ E/9 & 10E/9 & E/9 & 0 & 0 & 0 \\ E/9 & E/9 & 10E/9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E \end{pmatrix}, \text{ Pa,} \quad (5)$$

where λ and μ are the Lamé coefficients for basic medium, s^{-1} ; δ are the Kronecker symbols; $i, j, k, l = 1, 2, 3$.

Tensor operations: sum of tensors, inverse tensor and convolution of tensors are performed according to the known formulas for tensor analysis [16]. Finally, we get the following expression for

$$\hat{G}'_{ef} = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B \end{pmatrix}, \text{ Pa.} \quad (6)$$

Here, the following expressions are accepted

$$A = \frac{2E}{3} \left[n + \frac{(1-p)(1-n)\Delta}{\Delta + p\Delta_1(1-\Delta)} \right], \text{ Pa;} \quad B = \frac{2E}{3} \left[n + \frac{(1-n)(1-p)\left(n + \frac{3}{2}\right)}{\left(n + \frac{3}{2}\right) + p(1-n)} \right], \text{ Pa;} \quad (7)$$

$$\Delta = \left[4\left(n + \frac{5}{3}\right)^3 - \frac{1}{3}\left(n + \frac{5}{3}\right) + \frac{1}{9} \right]; \quad \Delta_1 = 4\left(n + \frac{5}{3}\right)^2 - \frac{1}{9}.$$

When $n = 0$, i.e. in the absence of any fractures, effective modulus coincides with the modulus of the source material; when $n = 1$, effective modulus coincides with the modulus of microdamages. These conclusions are natural as they follow from the very statement of the problem and validate correctness of the made calculations.

In this way, dependences of stresses and strains on the magnitude of microfractures, which are developing in the material, can be obtained. And relation between the deformation γ and stress τ in this case is expressed as

$$\tau = \hat{G}'_{ef} \cdot \gamma, \text{ Pa}, \quad (8)$$

where

$$\hat{G}'_{ef} = G_{in} \left[n + \frac{(1-n)(1-p) \left(n + \frac{3}{2} \right)}{\left(n + \frac{3}{2} \right) + p(1-n)} \right], \text{ Pa}. \quad (9)$$

Here, G_{in} is initial value of the source material modulus, Pa.

Results and discussion. Let's use the obtained results for calculation of effective modulus of RMB type elements made of 2959-type rubber (on the basis of natural caoutchouc with filling of 45 mass parts of black carbon), for which initial value of rubber dynamic is $G_{in} = 1.60$ MPa (at an oscillation angular frequency $\omega = 60-80$ rad/s). Let's use the previously obtained in [6, 8-10] experimental results on time-dependent change of the shear modulus for elements made of rubber 2959, and let's assume that $n = 1.2$.

Let's consider a concrete example. Let it be necessary to predict a change of oscillation amplitude in ore vibratory feeder of the VPR-4m type, elastic links of which are made in the form of shift elements of the RMB type. Parameters of vibratory feeder are as follows: mass of vibrating elements is $m = 3770$ kg; oscillation angular frequency is $\omega = 101.5$ rad/s; initial value of instantaneous shear modulus for rubber is $G_{in} = 1.76$ MPa; and dissipation coefficient is $\psi = 0.31$.

Equation for the vibrating elements movements in the vibratory feeder is

$$m\ddot{x} + C_t x = P \sin \omega t, \quad (10)$$

where m is mass of the work member, kg; C_t is reduced stiffness of the main elastic links, N/m; P is exciting power, N; ω is loading angular frequency, rad/s; t is time, s.

The solution of equation (10) is expressed as

$$x = a \sin(\omega t - \varphi), \quad (11)$$

where x is coordinate, m; φ is phase, rad.

Express the dependence of the amplitude of the conveyor oscillations as follows

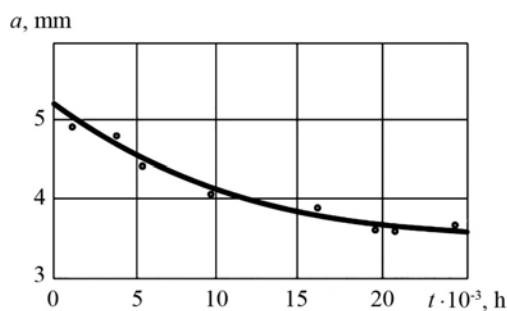
$$a = \frac{Q}{m \sqrt{\{\omega_0^2 [1 - A_1(\omega)] - \omega^2\}^2 + B_1^2(\omega) \omega_0^4}}. \quad (12)$$

Here a is amplitude of oscillations, m; Q is the force of inertia, N; ω_0 is natural vibration angular frequency of an ideally elastic system, rad/s; $A_1(\omega)$ and $B_1(\omega)$ are rheological characteristics of rubber (cosine and sine Fourier transform of a fractional exponential function) [6].

Values for effective modulus were determined from the dependence $G_{ef} \sim p/p_{kr}$ by the formula (9), rate of critical fracture $p_{kr} = 5,6$ was taken according to the experimental data obtained in [6], and kinetic curve $p(t)$ was also obtained experimentally on model samples with long-term cyclic loading.

Time dependence of vibratory feeder amplitude calculated in this way is shown in figure and, as it is seen, satisfactorily coincides with experimental data [6]. This coincidence confirms the suitability of the proposed method for calculating mechanical characteristics of vibration machines, the elastic links of which change their parameters over time. As it is seen, oscillation amplitude decreased from 5.2 mm to 3.7 mm after 24,000 hours and led to degradation of vibratory feeder productivity.

It should be noted that in engineering practice, change of oscillation amplitude in vibratory machines during their long-term operation is quite frequent phenomenon. In practice, this undesirable phenomenon is usually eliminated by changing frequency of drive oscillations or, in case of excessive stiffness, by replacing elements in the elastic suspension.



Change of oscillation amplitude of the VPR-4m vibratory feeder at long-term operation: the points is experimental data, the line is calculated curve

Conclusions. 1. A synergistic model and algorithm were developed for calculating vibratory feeders for drawing and feeding uranium ores with taking into account time-dependent instability of elastic suspension parameters.

2. When solving the integro-differential equation of the oscillatory system and taking into account the unstable in time rheological parameters of the rubber elements of the elastic suspension of the feeder, the dependence of its oscillation amplitude on the operating time is obtained; calculation results satisfactorily coincide with the data of industrial tests.

**В. И. Дырда¹, Н. И. Лисица¹, В. А. Лапин², Г. Н. Агальцов¹,
Е. В. Калганков³, А. В. Толстенко³, А. А. Черний³**

¹Поляков атындағы Украина ұлттық ғылым академиясының геотехникалық механика институты, Днепр, Украина;

²«Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;

³Днепр мемлекеттік аграрлық-экономикалық университеті, Днепр, Украина

ПАРАМЕТРЛЕРІ УАҚЫТЫНДАҒЫ ТҰРАҚСЫЗДЫҚТЫ ЕСКЕРЕТІН АУЫР ДІРІЛ МАШИНАЛАРЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫ

Аннотация. Уран кенін жерасты өндіру бірнеше технологиялық үдерістерден тұрады, олардың ен маңыздысының бірі – сынған тау жыныстарын тазарту кеңістігінен шығару және оны көлік құралдарына тиеу. Өндіріс қарқындылығын арттыру мәселесі барлық өндірістік үдерістердің, оның ішінде минералды шикізат өндірісінің өнімділігін бір уақытта арттыруды талап етеді. Сонымен бірге жоғары тиімділікті де, қауіпсіз үдерісті де құру қажет. Бұл мәселе эластомерлік материалдардан жасалған серпімді байланысы бар діріл машиналарын қолдану арқылы сәтті шешіледі, бұл жағдай өнімділіктің жоғарылауымен бірге энергия шығынын және қатып қалу санын азайтуға мүмкіндік береді.

Әртүрлі технологиялық мақсат үшін діріл технологиясын жасаудың әлемдік тәжірибесін зерттеу оның негізінен минералды бетінде өңдеу үшін қолданылатындығын көрсетті. Жерасты жағдайында діріл технологиясын қолдану әлемдік тәжірибеде іс жүзінде жоқ, сонымен қатар бұл мәселе бойынша ғылыми әдебиеттер де кездеспейді.

Жұмыста уран кенін өндіру және жеткізуде блокада астында жұмыс істейтін VPR типтегі ауыр діріл беретін фидерлер (діріл кенін беру) динамикасын қарастырамыз. Құрылымдық тұрғыдан алғанда, VPR дірілдеткіштері – біртекті массалы тербеліс жүйесі; BRM типтегі призмалық резеңке элементтер (резеңке-металл блоктар) серпімді буын ретінде қызмет етеді. Жұмыс кезінде мұндай элементтер қарапайым ығысу деформацияларына ұшырайды; олардың физикалық және механикалық параметрлері уақыт бойынша тұрақсыз: ығысу модулі жоғарылайды, ал ыдырау коэффициенті төмендейді. Мұндай өзгеріс негізінен резеңке кіретін барлық эласто-тұқым қуалайтын материалдарға тән картаю үдерісіне байланысты болып келеді.

Аналитикалық зерттеулерді және уран кенін, құрылыс материалдарын жерасты қазып шығаруда және дірілді өнеркәсіптік сынау нәтижелерін қосқанда кешенді тәсіл қолданылды. Өзірленген алгоритмге және тербелмелі бергіштің резеңке байланыстары микрокрекингінің синергетикалық моделіне сүйене отырып, уақытты тұрақсыз параметрлермен қоректендіргіштер динамикасын сипаттауға мүмкіндік беретін математикалық теңдеулер алынды; тербелмелі жүйенің интегро-дифференциалдық теңдеуін шешкенде фидердің

амплитуда сипаттамаларының жұмыс уақытына тәуелділігі алынады. Түпнұсқа алгоритм және синергетикалық модель жасалды және олардың негізінде математикалық аппарат құрылды, ол жұмыс кезінде діріл бергіштің тербеліс амплитудасының өзгеруін анықтауға мүмкіндік береді. Аналитикалық есептеу негізінде діріл бергіштің тербеліс амплитудасы параметрлерінің өзгеруін болжау әдісі жасалды және енгізілді. Бұл әдіс уранды шахтада жұмыс істеп тұрған VPR-4 м діріл бергішінің тербеліс амплитудасының өзгеруін есептеу үшін руданы төгу және арбаларға тиеу кезінде пайдаланылды. Мұндай фидерлердің жұмыс мерзімі шамамен 2-3 жыл. Үш вибраторлы фидер жұмысының бүкіл кезеңінде (шамамен 30 мың сағат) жұмыс органдары тербелістерінің амплитудасы мен жиілігін өлшеу бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Алынған есептеу нәтижелері өндірістік сынақ нәтижелері бойынша қанағаттанарлық деңгейде.

Түйін сөздер: діріл бергіш, діріл, синергетикалық модель, шаршау.

**В. И. Дырда¹, Н. И. Лисица¹, В. А. Лапин², Г. Н. Агальцов¹,
Е. В. Калганков³, А. В. Толстенко³, А. А. Черний³**

¹Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова
Национальной академии наук Украины, Днепр, Украина;

²АО «Казахский научно-исследовательский и проектный институт
строительства и архитектуры», Алматы, Казахстан;

³Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, Украина

ДИНАМИКА ТЯЖЁЛЫХ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН С УЧЁТОМ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВО ВРЕМЕНИ ИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. Подземная разработка урановых руд состоит из нескольких технологических процессов, одним из наиболее важных из которых является выпуск отбитой горной массы из очистного пространства и погрузка её в средства транспортировки. Вопрос повышения интенсивности добычи требует синхронного повышения производительности всех процессов добычи, в том числе и выпуск минерального сырья. При этом необходимо создавать как высокопроизводительный, так и безопасный процесс. Эта проблема успешно решается применением вибрационных машин с упругими звеньями из эластомерных материалов, которые наряду с увеличением производительности позволяют снизить энергоёмкость и количество зависаний.

Изучение мирового опыта создания вибрационной техники различного технологического назначения показало, что преимущественно она используется для переработки минерального на поверхности. Применение вибрационной техники в стеснённых подземных условиях в мировой практике практически отсутствует, а также отсутствует и научная литература по данному вопросу.

В статье рассматривается динамика тяжёлых горных вибрационных питателей типа ВПР (вибрационные питатели рудные), работающих под завалом на выпуске и доставке урановых руд. Конструктивно вибропитатели ВПР представляют собой одномассную колебательную систему; упругими звеньями служат призматические резиновые элементы типа БРМ (блоки резинометаллические). При эксплуатации такие элементы испытывают деформации простого сдвига; их физико-механические параметры во времени нестабильны: модуль сдвига увеличивается, а коэффициент диссипации уменьшается. Такое изменение связано в основном с процессами старения, присущими всем упруго-наследственным материалам, к которым относится и резина.

Использован комплексный подход, включающий аналитические исследования и результаты промышленных испытаний вибропитателей при подземной добыче и доставке урановых руд и строительных материалов. На основе разработанных алгоритма и синергетической модели усталостного микроразрушения резиновых звеньев вибропитателя получены математические уравнения, позволяющие описать динамику питателей с нестабильными во времени параметрами; при решении интегро-дифференциального уравнения колебательной системы получена зависимость амплитудной характеристики питателя от времени его эксплуатации. Разработан оригинальный алгоритм и синергетическая модель и на их основе создан математический аппарат, позволяющий определить изменение амплитуды колебаний вибропитателя в течение его эксплуатации. На основе аналитических расчётов разработан и внедрён метод прогнозирования изменения параметров амплитуды колебаний вибропитателя. Этот метод использован для расчёта изменения амплитуды колебаний вибрационного питателя типа ВПР-4м, работающего в урановом руднике под завалом при выпуске руды и погрузке её в вагонетки. Длительность эксплуатации таких питателей примерно 2-3 года. На протяжении всего времени эксплуатации трёх вибропитателей (около 30 тысяч часов) проводились экспериментальные исследования по замеру амплитуды и частоты колебаний их рабочих органов. Полученные результаты расчёта удовлетворительно совпадают с результатами промышленных испытаний.

Ключевые слова: вибропитатель, колебания, синергетическая модель, усталостное разрушение.

Information about authors:

Dyrda Vitaly Illarionovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine; vita.igtm@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2113-816X>

Lysytsia Mykola Ivanovych, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine; lisitsa.n.i@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6364-8937>

Lapin Vladimir Alekseevich, Ph.D. in Engineering Science, Director of Center for Scientific Research in Building Industry, Corresponding Member of International Engineering Academy and National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, «KazRDICA» JSC, Almaty, Kazakhstan; lapin_1956@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1669-5332>

Ahaltsov Hennadii Mykolaiovych, Master of Science, Junior Researcher of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine; ag.gena@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6296-7573>

Kalhanov Yevhen Vasylovych, Master of Science, Senior Lecturer of Department «Reliability and repair of machinery», Dnipro State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnipro, Ukraine; kalhanov.ye.v@dsau.dp.ua; <https://orcid.org/0000-0002-4759-6687>

Tolstenko Oleksandr Vasylovych, Candidate of Technical Science (Ph. D.), Associate Professor of Department «Reliability and repair of machinery», Dnipro State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnipro, Ukraine, info@dsau.dp.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4752-5704>

Chernii Oleksandr Anatoliiovych, Master of Science, Senior Lecturer of Department «Reliability and repair of machinery», Dnipro State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnipro, Ukraine; sanek20.1984@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0691-5829>

REFERENCES

- [1] Timoshenko S.P. (1959) Fluctuations in engineering [Kolebaniia v inzhenernom dele]. Fizmatgiz, M. 440 p. (in Russ.).
- [2] Pisarenko G.S. (1970) Oscillations of mechanical systems taking into account imperfect material elasticity [Kolebaniia mekhanicheskikh sistem s uchetom nesovershennoi uprugosti materiala]. Naukova dumka. Kyiv. 378 p. (in Russ.).
- [3] Panovko Ia.G., Gubanov I.I. (1967) Stability and vibrations of elastic systems [Ustoichivost' i kolebaniia uprugikh sistem]. Nauka, M. 420 p. (in Russ.).
- [4] Vibration in technology [Vibratsiia v tekhnike] (1981) Red. Frolov V.K. Mashinostroenie, M. Vol. 6. 456 p. (in Russ.).
- [5] Tikhomirov Iu.F. (1975) Industrial vibrations and the fight against them [Promyshlennye vibratsii i bor'ba s nimi]. Tekhnika, Kiev. 180 p. (in Russ.).
- [6] Bulat A.F., Dyrda V.I., Zviagilskii E.L., Kobets A.S. (2011) Applied mechanics of elastic-hereditary media. Vol. 1. Mechanics of deforming and breaking down of elastomers [Prikladnaya mekhanika uprugo-nasledstvennykh sred. Tom 1. Mehanika deformirovaniia i razrusheniia elastomerov]. Naukova dumka, Kyiv. ISBN: 978-966-001196-0 (in Russ.).
- [7] Zuev Iu.S. (1980) Destruction of elastomers under typical operating conditions [Razrushenie elastomerov v usloviakh, kharakternykh dlia ekspluatatsii]. M., Khimiia. 268 p. (in Russ.).
- [8] Kuzminskii A.S. (1966) Aging and stabilization of polymers [Starenie i stabilizatsiia polimerov]. M., Khimiia. 78 p. (in Russ.).
- [9] Maslennikov V.G., Kantsans M.V., Botvinnik G.O., Treskunova Iu.M. (1975) [Opredelenie otноситel'nogo izmeneniia uslovno-ravnovesnogo modul'ia reziny v protsesse teplovogo stareniiia pri nagruzhении]. *Kauchuk i rezina*. 3: 42-44. ISSN: 0022-9466 (in Russ.).
- [10] Podkolzina M.M., Petrova L.B., Fedorova T.V. (1978) Features of changing the structure of vulcanization nets in the process of thermal aging and fatigue of rubbers [Osobennosti izmeneniia struktury vulkanizatsionnykh setok v protsesse teplovogo stareniiia i utomleniia rezin]. *Kauchuk i rezina*. 2: 16-18. ISSN: 0022-9466 (in Russ.).
- [11] Walpole L.I. (1966) On bounds for the overall elastic moduli of inhomogeneous system – I // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 14, 3.
- [12] Walpole L.I. (1966) On bounds for the overall elastic moduli of inhomogeneous system – II // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 14, 5.
- [13] Dyrda V., Chudnovsky A., Ultan V. (1974) O raschete dlitelnoy prochnosti rezinovykh detaley vibromashin. *Voprosy rudnichnogo transporta*, 13, 15-19 (in Russ.).
- [14] Vakulenko A. (1961) O cviazakh mezhdru napriazheniyami i deformatsiyami v urugikh sredakh. *Issledovaniya po uprugosti i plastichnosti*, 1, 3-36 (in Russ.).
- [15] Dyrda V., Kobets A., Bulat Ie., Lapin V., Lysytsia N., Ahaltsov H., Sokol S. (2019) Vibroseismic protection of heavy mining machines, buildings and structures. *E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice*, 109 (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900022>
- [16] Akvis M., Goldberg V. (1969) *Tenzornoe ischislenie*. M.: Nauka. (in Russ.).

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, А. Ахметова*
Верстка *Д. А. Абдрахимовой*

Подписано в печать 15.12.2020.
Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
17,6 п.л. Тираж 300. Заказ 6.