

Д.А. Кузиев, И.Н. Клементьева, Д.Ю. Горбикова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ ПРИВОДОВ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Рассмотрены особенности формирования удельной работы сил сопротивления вращению опережающего и отстающего шнеков во времени от величины прочности угля с учетом: сил сопротивления углю разрушению, возникающих при внедрении вооружения шнека в анизотропный угольный массив, характеризуемый прочностью при одноосном сжатии и сдвиге; сил трения, возникающих в зоне фрикционного контакта шнека с угольным пластом, препятствующих вращению шнека; сил инерции массы отбитого угля, препятствующих его перемещению вдоль оси вращения шнека. Установлено, что среднее значение момента сопротивления вращению опережающего шнека и амплитуда его колебания прямо пропорциональны диаметру шнека, величине безразмерного функционала и полусумме числа витков шнека, разрушающих угольный массив и линейно зависят от прочности угля и размерного коэффициента (произведения ширины захвата шнека; отношения скоростей передвижения комбайна вдоль лавы и вращения шнека; удвоенного отношения центрального угла радиуса шнека к косинусу угла наклона его винтовых линий). Среднее значение момента сопротивления вращению отстающего шнека и амплитуда его колебания нелинейно зависят от отношения высоты слоя к диаметру шнека и линейно зависят от прочности угля, размерного коэффициента.

Ключевые слова: очистной комбайн, опережающий шнек, отстающий шнек, прочность при одноосном сжатии, прочность при сдвиге, момент сопротивления вращению шнека.

Рабочий процесс выемки угля очистным комбайном с двумя шнеками (расположенными симметрично относительно корпуса) осуществляется путем сочетания его поступательного движения со скоростью — W_{\max} (м/с) и вращательного движения шнеков с одинаковой угловой скоростью — $\pm\omega$ (рад/с) при челноковой схеме работы. И представляется удлиненными циклоидами (трохоидами) для опережающего и отстающего шнеков на участке их взаимодействия с забоем.

Известно, что параметры нагружения приводов шнековых исполнительных органов очистного комбайна [1, 2, 3, 4, 5, 6] характеризуются: силами сопротивления угля разрушению, возникающими при внедрении вооружения шнека в анизотропный угольный массив, характеризуемый прочностью при сжатии $\sigma = \text{const}$ и сдвиге $k_\sigma \sigma = \text{const}$ ($k_\sigma = 0,15 \div 0,33$ – отношение прочности угля при одноосном сжатии к его прочности при сдвиге, причем большее значение отношения соответствует связным и пластичным, а меньшее крепким и хрупким углям [7]); силами трения, возникающими в зоне фрикционного контакта шнека с угольным пластом, препятствующими вращению шнека; силами инерции массы отбитого угля, препятствующими его перемещению вдоль оси вращения шнека.

Определение окружного усилия – F_τ сопротивления угля разрушению по методике (рекомендованной отраслевым стандартом – ОСТ 24.070.03), использующей понятие «показатель сопротивляемости угля резанию», считаем не целесообразным, поскольку, на основе полученных профессорами Л.Т. Дворниковым и П.Д. Крестовоздвиженским экспериментальных данных установлено, что «одновременно на забой воздействует не более половины резцов, установленных на шнеке в каждой линии реза, и вся энергия привода, затраченная на разрушение угля, передается через вполне конкретное их число – от 15 до 30» [8]. Кроме того, к настоящему времени накоплено значительное количество теоретических и экспериментальных работ по определению оптимальных параметров стружки. Среди них в первую очередь следует отметить работы академика ВАСХНИЛ В.Н. Горячкина [9], Ю.А. Ветрова [10], Н.Г. Домбровского [11], А.И. Зеленина [12], Д.И. Федорова [13], А.И. Шендерова [14]. На основе выполненного нами анализа выше перечисленных работ можно сделать вывод, что выбор методики определения усилия резания применительно к шнековым исполнительным органам очистных комбайнов остается открытым.

Применение метода проф. Н.Г. Домбровского дает неплохие практические результаты для шнековых исполнительных органов, где отношение $S_{0\text{max}}/B$ в процессе работы изменяется незначительно. В тоже время экспериментальные исследования, выполненные докторами технических наук Ю.И. Протасовым и Ю.И. Беляковым, показывают, что для определения окружного усилия сопротивления угля разрушению – F_τ с достаточной степенью точности можно использовать уравнение проф. Н.Г. Домбровского, представляющее собой произведение

прочности угля при его одноосном сжатии и площади разрушаемой поверхности.

Учитывая, что при разрушении угольного пласта имеет место конверсия колебаний (возникновение вынужденных колебаний в приводе вращения шнека за счет неравномерности тягового усилия в бесцепной системе подачи), окружное усилие сопротивлению угля разрушению определится, как:

- для опережающего шнека:

$$F_{\tau} = \sigma k k_{\delta} k_s z_{om} f (k_h = 1), \text{ Н} \quad (1)$$

где k – коэффициент неравномерности тягового усилия бесцепной системы подачи (БСП) очистного комбайна, равный $k = 1,43$; k_{δ} – коэффициент динамичности привода шнека, составляет $k_{\delta} = 2 \div 2,3$;

- для отстающего шнека:

$$F_{\tau} = \sigma k k_{\delta} k_{oc} k_s z_{om} f (k_h = h / D), \text{ Н} \quad (2)$$

где k_{oc} – коэффициент уменьшения прочности слоя угля при его разрушении отстающим шнеком, учитывающий ослабление угольного массива опережающим шнеком.

Поскольку вращение отстающего шнека всегда направлено против направления скорости движения комбайна W , то величина k_{oc} в соответствии с результатами, полученными в работе [15], имеет величину при работе комбайна с углами контакта шнека со слоем угля: в диапазоне $0 < \varphi_0 \leq 0,5\pi$ $k_{oc} = 0,77$; в диапазоне $0,5\pi < \varphi_0 < \pi$ $k_{oc} = 0,72$; при $\varphi_0 = \pi$ $k_{oc} = 1$. Соответственно, момент сопротивления вращению определится следующим образом:

- для опережающего шнека:

$$M_{on} = 0,5\sigma D k k_{\delta} k_s z_{on} f (k_h = 1), \text{ Нм} \quad (3)$$

при $z_{on \min} = 1, z_{on \max} = 1,5$;

- для отстающего шнека:

$$M_{om} = 0,5\sigma D k k_{\delta} k_{oc} k_s z_{om} f (k_h = h / D), \text{ Нм} \quad (4)$$

при $z_{om \min} = 0, z_{om \max} = 1$.

В соответствии с результатами экспериментальных исследований, приведенными в работе [15], в установившемся режиме работы комбайна низкочастотное изменение момента сопротивления вращению трех заходного шнека во времени может быть представлено в виде суммы среднего и синусоидального значений его колебаний:

$$M_{on} = \tilde{M}_{on} + \Delta M_{on}, \text{ Нм} \quad (5)$$

Здесь среднее значение определится как:

$$\tilde{M}_{on} = 0,5\sigma D k k_{\partial} k_s f(k_h = 1) \frac{z_{on \max} + z_{on \min}}{2}, \text{ Нм} \quad (6)$$

При этом амплитуда колебания момента сопротивления вращению составит:

$$\Delta M_{on} = 0,5\sigma D k k_{\partial} k_s f(k_h = 1) \left(\frac{z_{on \max} - z_{on \min}}{2} \right) \sin \varphi, \text{ Нм} \quad (7)$$

Таким образом, с учетом вышеизложенного, зависимость момента сопротивления вращению опережающего шнека окончательно принимает вид:

$$M_{on} = \Omega_M k k_{\partial} f(k_h = 1) \left[\frac{z_{on \max} + z_{on \min}}{2} + \left(\frac{z_{on \max} - z_{on \min}}{2} \right) \sin \varphi \right], \text{ Нм} \quad (8)$$

здесь φ – угловая координата при вращении шнека, равная

$$\varphi = z\omega t, \text{ рад}, \quad (9)$$

отсчет текущего значения угла поворота φ начинается с точки касания его вооружения с угольным пластом; Ω_M – момент, необходимый для разрушения одного метра квадратного горизонтального сечения стружки угля прочностью σ , Нм, равный

$$\Omega_M = 0,5\sigma k_s D, \text{ Нм} \quad (10)$$

Изменение удельной работы для преодоления сил сопротивления вращению шнека во времени от величины прочности угля σ приведено на рис. 1.

Анализ графической интерпретации зависимости (9), приведенной на рис. 1, свидетельствует, что удельная работа, необходимая для преодоления сил сопротивления вращению шнека Ω_M при выемке слоя угля синусоидально изменяется с периодом T_z , равным:

$$T_z = 2\pi / z\omega, \text{ с} \quad (11)$$

Среднее значение момента сопротивления вращению опережающего шнека \tilde{M}_{on} и амплитуда его колебания ΔM_{on} :

- прямо пропорциональны диаметру шнека D , величине безразмерного функционала $f(k_h = 1)$ и полусумме числа витков шнека, разрушающих угольный массив $(z_{on \max} + z_{on \min})/2$;
- линейно зависят от прочности угля σ и безразмерного коэффициента k_s (произведения ширины захвата шнека B ; отношения скоростей передвижения комбайна вдоль лавы и враще-

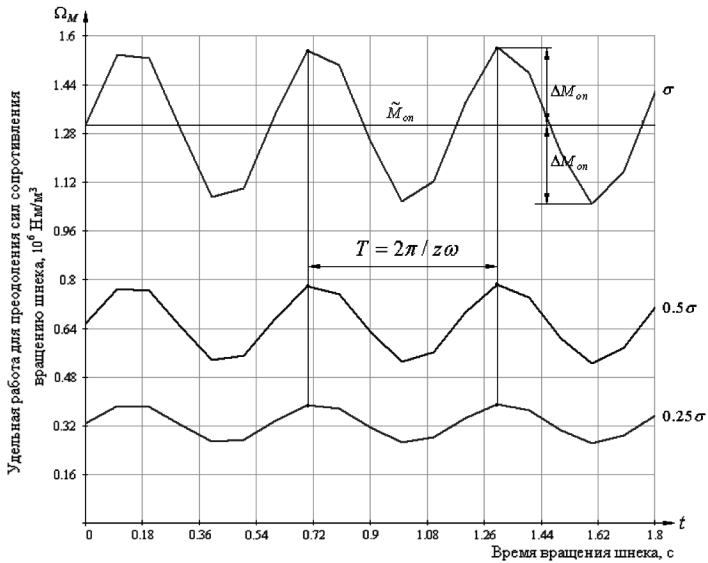


Рис. 1. Изменение удельной работы сил сопротивления вращению опережающего шнека во времени от величины прочности угля

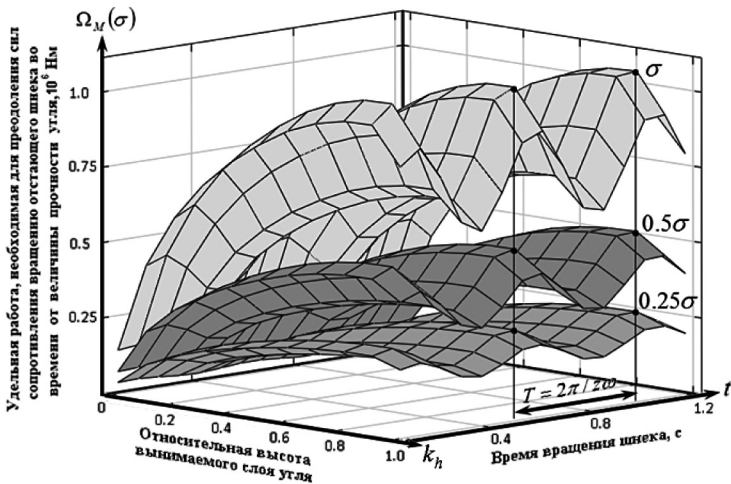


Рис. 2. Изменение удельной работы сил сопротивления вращению отстающего шнека во времени от величины прочности угля и величины отношения высоты обрабатываемого слоя угля к диаметру отстающего шнека (безразмерного коэффициента $k_h = h/D$, $k_{h \min} \leq k_h \leq 1,0$)

ния шнека W/ω ; удвоенного отношения центрального угла радиуса шнека $2\pi/\cos\alpha_1$ к косинусу угла α_1 наклона его винтовых линий).

По аналогии с выражением (8) с учетом того, что при отработке угольного массива отстающим шнеком имеет место его ослабление, характеризуемое коэффициентом k_{oc} , получим выражение для момента сопротивления вращению отстающего шнека:

$$M_{om} = \Omega_M k k_\delta k_{oc} f(k_h = h / D) \cdot \left[\frac{z_{om \max} + z_{om \min}}{2} + \left(\frac{z_{om \max} - z_{om \min}}{2} \right) \sin \varphi \right], \text{ Нм} \quad (12)$$

Изменение удельной работы для преодоления сил сопротивления вращению отстающего шнека во времени от величины прочности угля σ (см. уравнение (12)) приведено на рис. 2.

В свою очередь анализ графической интерпретации зависимости (12), приведенной на рис. 2, свидетельствует, что среднее значение момента сопротивления вращению отстающего шнека \tilde{M}_{om} и амплитуда его колебания ΔM_{om} :

- нелинейно зависят от отношения высоты слоя к диаметру шнека $f(k_h = h/D)$;

- линейно зависят от прочности угля σ , размерного коэффициента k_s (произведения ширины захвата шнека B ; отношения скоростей передвижения комбайна вдоль лавы и вращения шнека W/ω ; удвоенного отношения центрального угла радиуса шнека $2\pi/\cos\alpha_1$ к косинусу угла α_1 наклона его винтовых линий).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грабский А. А., Свиначук В. П.* Обоснование параметров вооружения рабочих органов карьерного оборудования // Уголь. – 2010. – № 10. – С. 27–31.
2. *Домбровский Н. Г., Картвелишвили Ю. Л., Гальперин М. И.* Строительные машины. Учебник для вузов. В 2 ч, ч. 1. – М.: Машиностроение, 1976. – 392 с.
3. *Квагинидзе В. С., Петров В. Ф., Корецкий В. Б.* Эксплуатация карьерного оборудования. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 587 с.
4. *Ковалевский В. Ф.* Теплообменные устройства и тепловые расчеты гидропривода горных машин. – М.: Недра, 1972. – 224 с.
5. *Ковалевский В. Ф., Железняков Н. Т., Бейлин Ю. Б.* Справочник по гидроприводам горных машин. – М.: Недра, 1973. – 504 с.
6. *Коваль П. В.* Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для вузов по специальности «Горные машины и комплексы». – М.: Машиностроение, 1979. – 319 с.

7. *Габский А. А.* Теория динамических и тепловых процессов карьерного комбайна. — М.: МГГУ, 2011. — 204 с.

8. *Дворников Л. Т., Крестовоздвиженский П. Д.* К вопросу о повышении прочности тангенциальных поворотных резцов горных очистных комбайнов / *Материалы XXI региональной научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения.* — Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2011. — С. 139–150.

9. *Горячкин В. П.* Собр. сочинений, т. III и IV. Сельхозгиз, 1940.

10. *Ветров Ю. А.* Особенности рабочего процесса роторного экскаватора и рациональное конструирование их ковшей // *Строительное и дорожное машиностроение.* — 1958. — № 10.

11. *Домбровский Н. Г.* Сопротивление грунта копанию при работе экскаватора / *Резание грунтов*, сб. статей. — М.: Изд. АН СССР, 1951.

12. *Зеленин А. Н.* Резание грунтов. — М.: Изд. АН СССР, 1959.

13. *Федоров Д. И.* Испытание экскаваторных ковшей новой формы // *Механизация строительства.* — 1958. — № 11.

14. *Шендеров А. И.* Исследование параметров роторных комплексов большой производительности для открытых горных работ. Канд. дисс. — М.: ИГД им. А. Скочинского, 1968.

15. *Солод В. И., Гетопанов В. Н., Рачек В. М.* Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Учебник для вузов. — М.: Недра, 1982. — 350 с.

16. *Кузиев Д. А., Крючев Д. А.* Динамические характеристики и свойства системы приводов карьерного комбайна // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2009. — № 9. — С. 219–222.

17. *Кузиев Д. А., Кантович Л. И.* Возможность применения генераторов импульсов для формирования вынужденных колебаний в приводе шнека фрезерного рабочего органа карьерного комбайна // *Горная промышленность.* — 2012. — № 5. — С. 71–72.

18. *Еленкин В. Ф., Клементьева И. Н.* Особенности взаимодействия шнеков очистного комбайна с угольным пластом в зоне фрикционно-го контакта // *Уголь.* — 2012. — № 9. — С. 40–43.

19. *Еленкин В. Ф., Клементьева И. Н.* Исследование влияния эффективного коэффициента сухого трения на момент сопротивления вращению шнеков очистного комбайна при вынужденных гармонических колебаниях движущего момента // *Горная промышленность.* — 2014. — № 1 (113). — С. 112–113.

20. *Клементьева И. Н.* Кинематические особенности процесса выемки угля двухшнековым очистным комбайном / *Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 29 марта 2013 г.: в 10 ч. Ч. 3.* — Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. — С. 56–57.

21. *Courtell R.* Normal vibration in contact friction. — «Wear», 11, 1986, 77 p.

22. *Lenkiewicz W.* The sliding friction process-effect of external vibrations. — «Wear», 13, 1996, № 2, p. 99–108

23. *Den J. P. Hartog.* Mechanical Vibrations. Fourth Edition. New York Toronto London. Mc Grow-Hill Book Company, inc. 1956. 580 pp. **PLAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Кузиев Дильшад Алишерович*¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: aka_black@list.ru,

*Клементьева Инна Николаевна*¹ – кандидат технических наук, e-mail: iklementyeva@yandex.ru,

*Горбикова Дарья Юрьевна*¹ – магистрант, e-mail: gorbikova.darya@yandex.ru,

¹ НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 2, pp. 93–101.

UDC
622.23.05

D.A. Kuziev, I.N. Klement'eva, D.Yu. Gorbikova

A STUDY OF LOADING PARAMETERS OF SCREW ACTUATORS OF EXECUTIVE BODIES OF SHEARER

The peculiarities of formation compressive forces of resistance to rotation of the advancing and lagging screws in time from the value of the strength of the coal, taking into account: the resistance of the coal to fracture arising from the introduction weapons of the screw in the anisotropic coal massif, which is characterized by strength under uniaxial compression and shear; forces of friction in the zone of friction contact of the auger with the coal seam, preventing the rotation of the screw; the forces of inertia of the mass of broken coal, preventing it from moving along the axis of rotation of the screw. The average value of the moment of resistance to rotation of the advancing screw and the amplitude of the oscillations is directly proportional to the diameter of the screw, the magnitude of the dimensionless functions and the semi sum of the number of turns of the screw, destroying the coal array and linearly depend on the strength of coal and the size of the coefficient (the product of the width of the auger; the relationship of the speeds of movement of the harvester along the lava and screw speed; twice the relationship of the Central angle radius of the screw to the cosine of the angle of inclination of its helix). The average value of the moment of resistance to rotation of the screw lagging and the amplitude of the nonlinear oscillations depend on the ratio of layer height to the diameter of the screw and linearly depend on the strength of coal, dimension ratio.

Key words: shearer, ahead of the auger behind the auger, the strength under uniaxial compression, the shear strength, moment of resistance to rotation of the screw.

AUTHORS

*Kuziev D.A.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: aka_black@list.ru,

*Klement'eva I.N.*¹, Candidate of Technical Sciences, e-mail: iklementyeva@yandex.ru,

*Gorbikova D. Yu.*¹, Master's Degree Student, e-mail: gorbikova.darya@yandex.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Grabskiy A. A., Svinarchuk V. P. *Ugol'*. 2010, no 10, pp. 27–31.
2. Dombrovskiy N. G., Kartvelishvili Yu. L., Gal'perin M. I. *Stroitel'nye mashiny*. Uchebnik dlya vuzov. V 2 ch, ch. 1 (Construction machinery. Textbook for high schools, in 2 parts, part 1), Moscow, Mashinostroenie, 1976, 392 p.
3. Kvaginidze V. S., Petrov V. F., Koretskiy V. B. *Ekspluatatsiya kar'ernogo oborudovaniya* (Operation of quarry equipment), Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2007, 587 p.
4. Kovalevskiy V. F. *Teploobmennyye ustroystva i teplovye raschetny gidroprivoda gornyykh mashin* (Heat exchange device and the thermal design of the hydraulic drive of mining machines), Moscow, Nedra, 1972, 224 p.
5. Kovalevskiy V. F., Zheleznyakov N. T., Beylin Yu. B. *Spravochnik po gidroprivodam gornyykh mashin* (Handbook on hydraulic mining machines), Moscow, Nedra, 1973, 504 p.
6. Koval' P. V. *Gidravlika i gidroprivod gornyykh mashin*: Uchebnik dlya vuzov (Hydraulics and hydraulic drive of mining machines: Textbook for high schools), Moscow, Mashinostroenie, 1979, 319 p.
7. Grabskiy A. A. *Teoriya dinamicheskikh i teplovykh protsessov kar'ernogo kombayna* (Theory of dynamic and thermal processes surface miner), Moscow, MGGU, 2011, 204 p.
8. Dvornikov L. T., Krestovozdvizhenskiy P. D. *Materialy XXI regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii po problemam mekhaniki i mashinostroeniya* (Materials of the XXI regional scientific-practical conference on problems of mechanics and engineering), Novokuznetsk, Izdatel'skiy tsentr SibGIU, 2011, pp. 139–150.
9. Goryachkin V. P. *Sobranie sochineniy*, t. III, IV (Collected works, vol. III, IV), Sel'khozgiz, 1940.
10. Vetrov Yu. A. *Stroitel'noe i dorozhnoe mashinostroenie*. 1958, no 10.
11. Dombrovskiy N. G. *Rezaniye gruntov*, Sbornik statey (Cutting of soils, collection of articles), Moscow, Izd. AN SSSR, 1951.
12. Zelenin A. N. *Rezaniye gruntov*, Sbornik statey (Cutting of soils, collection of articles), Moscow, Izd. AN SSSR, 1959.
13. Fedorov D. I. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 1958, no 11.
14. Shenderov A. I. *Issledovanie parametrov rotornykh kompleksov bol'shoy proizvoditel'nosti dlya otkrytykh gornyykh rabot* (Investigation of parameters of rotary complexes great performance for open cast mining) Candidate's thesis, Moscow, IGD im. A. Skochinskogo, 1968.
15. Solod V. I., Getopanov V. N., Rachek V. M. *Proektirovaniye i konstruirovaniye gornyykh mashin i kompleksov*. Uchebnik dlya vuzov (Design and construction of mining machines and complexes. Textbook for high schools, Moscow, Nedra, 1982, 350 p.
16. Kuziev D. A., Kryuchev D. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 9, pp. 219–222.
17. Kuziev D. A., Kantovich L. I. *Gornaya promyshlennost'*. 2012, no 5, pp. 71–72.
18. Elenkin V. F., Klement'eva I. N. *Ugol'*. 2012, no 9, pp. 40–43.
19. Elenkin V. F., Klement'eva I. N. *Gornaya promyshlennost'*. 2014, no 1 (113), pp. 112–113.
20. Klement'eva I. N. *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: problemy i perspektivy razvitiya: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 29 marta 2013 g.: v 10 ch. Ch. 3. (Science, education, society: problems and prospects: collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference on March 29, 2013, in 10 parts. Part 3), Tambov, Izd-vo TROO «Biznes-Nauka-Obshchestvo», 2013, pp. 56–57.
21. Courtel R. Normal vibration in contact friction. «Wear», 11, 1986, 77 p.
22. Lenkiewicz W. The sliding friction process-effect of external vibrations. «Wear», 13, 1996, № 2, p. 99–108
23. Den J. P. Hartog. *Mechanical Vibrations*. Fourth Edition. New York Toronto London. Mc Grow-Hill Book Company, inc. 1956. 580 pp.