

Материалдарды ұнтақтауға арналған ұсақтағыштың жаңа конструкция тиімділігін зерттеу

¹*БАЙГЕРЕЕВ Самат Рахимғалиевич, PhD, аға оқытушы, samat.baigereyev@mail.ru,

¹ГУРЬЯНОВ Георгий Александрович, т.ғ.к., профессор, gguryanov@mail.ru,

¹АБДЕЕВ Борис Масгутович, т.ғ.к., профессор, m.abdeeva@mail.ru,

²СУЛЕЙМЕНОВ Ансаган Дюсембаевич, аға оқытушы, ansar_muslim_91@mail.ru,

³КИМ Вадим Александрович, конструкторлық бөлімінің басшысы, k-v-a@list.ru,

¹«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Өскемен, А.К. Протозанов көшесі, 69,

²«Торайғыров университеті» КеАҚ, Қазақстан, Павлодар, Ломов көшесі, 64,

³«Инженерлік шешімдер» ЖҚК» ЖШС, Қазақстан, Өскемен, Д. Серікбаев көшесі, 37,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Жұмыстың мақсаты – материалдарды ұнтақтауға арналған ұсақтағыштың жаңа конструкциясын зерттеу. Мақалада материалдарды ұнтақтауға арналған ротор типті ұсақтағыштың жаңа конструкциясы ұсынылған. Конструкцияны әзірлеу ұнтақтау жіңішкелігін жоғарылату арқылы материалдарды ұнтақтау тиімділігін арттыруға бағытталған. Конструкция ұсақталған материалдың бөлшектеріне ерекше әсер ету принципіне негізделген (радиалды және осьтік бағыттағы әсер). Бұл принцип эллипс және діріл жетегі түрінде ұсақтағыш роторының профилін жасау арқылы жүзеге асырылады. Ұсынылған конструкцияның тиімділігі есептік эксперимент нәтижелерімен расталады.

Кілт сөздер: ұсақтағыш, материал, ротор, бөлшек, ұсақтағыш шар, ұнтақтау энергиясы, діріл, жетек, кернеу, тербеліс амплитудасы, ұнтақтаудың жіңішкелігі, теңгерімсіздік білігі.

Кіріспе. Қазіргі уақытта материалды ротормен қозғалатын шарлармен ұнтақтайтын ұсатқыш ұсақтаудың ең перспективті әдістерінің бірі болып табылады. Роторлық ұсатқыштың классикалық конструкциясына ұсақтағыш шарлармен және ұсақталған материалдың бөлшектерімен толтырылған камера, білікке бекітілген ротор; электр қозғалтқышы кіреді (1-сурет). Роторы бар ұсатқыштардағы ұнтақтау үрдісі бөлшектердің ұсақтағыш шарлармен соқтығысуының нәтижесі болып табылады [1-4].

Роторы бар ұсатқыштардың конструкциясын жетілдірудің негізгі міндеті материал бөлшектерінің мөлшерін төмендету болып табылады. Басқа авторлардың зерттеу нәтижелерінен ұнтақтаудың тиімділігіне активатордың жылдамдығы мен камераны ұсақтағыш шарларымен толтыру дәрежесі айтарлықтай әсер етеді [5]. Бұл камераны ұсақтағыш шарларымен толтыру деңгейінің жоғарылауымен ұсақтағыш шарларының соқтығысу ықтималдығы артады, ал активатордың айналу жылдамдығының жоғарылауымен ұсақтағыш шарларының ұнтақтау энергиясы (кинетикалық энергиясы) артады.

Алайда, камераны ұсақтағыш шарларымен толтыру деңгейінің жоғарылауымен және роторы бар ұсатқыштардың типтік конструкцияларындағы активатордың жылдамдығымен байланысты бірнеше мәселелерді атап өтуге болады:

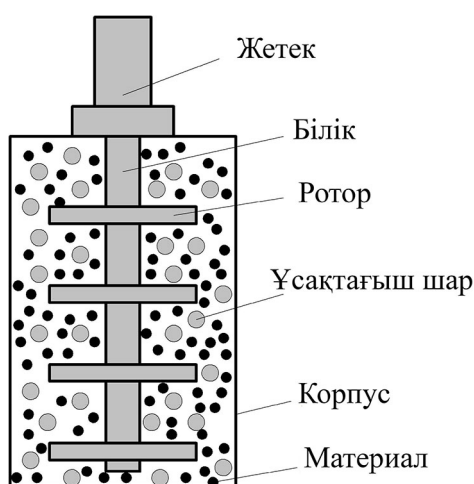
1) камераны ұсақтағыш шарларымен толтыру деңгейінің жоғарылауы жоғары үдеу алу үшін қажетті ұсақтағыш шарлары арасындағы өзара қашықтықтың азаюына байланысты ұнтақтау энергиясының төмендеуіне әкеледі [5];

2) активатордың жылдамдығын арттыру жоғары кинетикалық энергия аймағында ұсақтағыш шарларының соқтығысу жиілігін төмендетеді [6,7].

Жоғарыда аталған әдеби зерттеудің нәтижелеріне негізделіп, роторы бар ұсақтағыштың тиімділігін арттыру мақсатында жаңа идеяның қажеттілігі туралы қорытынды жасауға болады.

Мәселенің шешімі ретінде роторы бар ұсақтағыштың классикалық конструкциясына эллипс түрінде жаңа ротор және дебаланс жетегі мен серіппе элементтері енгізілді (2-сурет) [8].

Аталған конструкциялық өзгерістер шарлардың радиалды және аксиалды бағытта соғылу



1-сурет – Роторлық ұсақтағыштың классикалық конструкциясы

энергиясын артады. Ротордың ұсынылған конструкциясы патенттелген [9].

Зерттеулер әдістері. Ұнтақталған бөлшектердің теориялық мөлшерін анықтау үшін, ең алдымен, радиалды және аксиалды бағытта ұсақтағыш шарларының жылдамдығын анықтау үшін келесі математикалық тәуелділіктер анықталды [8]:

$$v_R = \frac{(b-c) \cdot n}{7,5}, \text{ мм/с}, \quad (1)$$

$$v_A = A\omega, \text{ мм/с}, \quad (2)$$

мұндағы b – эллипсоидты ротордың кіші жарты осі, мм;
 c – эллипсоидты ротордың үлкен жартылай осі, мм;
 n – эллипсоидты ротордың айналу жиілігі, айн/мин;
 A – камераның тербеліс амплитудасы, мм;
 ω – камераның тербеліс жиілігі, Гц.
 (1) және (2) формулалар арқылы ұсақтағыш

шарлардың жылдамдықтарын анықтап, ұнтақтау процессінің жіңішкелігін анықтау үшін математикалық тәуелділігін анықтау қажет. Ол үшін авторлар ұсақтағыш шарларының әсерінен материал бөлшектерін ұсақтау математикалық моделін жасады [10]. Ол Герц-Штаерманның сфералық денелер арасында пайда болатын реактивті статикалық жүктеме туралы классикалық аналитикалық тәуелділігіне негізделген.

Қарастырылып отырған ұнтақтау теориясының негізінде жылдамдықпен қозғалатын кинетикалық энергияның өзгеруі туралы теоремасы және келесі классикалық алғышарттар қолданылды:

- ұсақталған бөлшектердің материалы біртекті, қатты, изотропты және физикалық сызықты, яғни Гук заңына бағынады;

- соқтығысатын беттер толығымен тегіс болуы керек;

- соққы серпімді емес;

- физикалық-механикалық сипаттамалары, ұсақталған зат динамикалық жүктеме жағдайында тұрақты болып қалады;

- ұсақтайтын шардың салмақ компонентімен салыстырғанда бөлшектің өз салмағы ескерілмейді.

Бөлшектері бар ұсақтағыш шарларының әсерінен модельдендірілген схемасының физикалық, динамикалық және геометриялық параметрлеріне байланысты кернеулер пайда болады:

$$\sigma = \sigma(\mu, Y, m_{ш}, v, d_{ш}, d_0), \text{ Па}, \quad (3)$$

мұндағы σ – кернеу;

μ – Пуассон коэффициенті;

Y – серпімділік модулі;

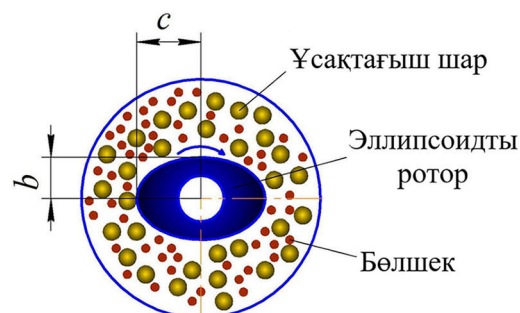
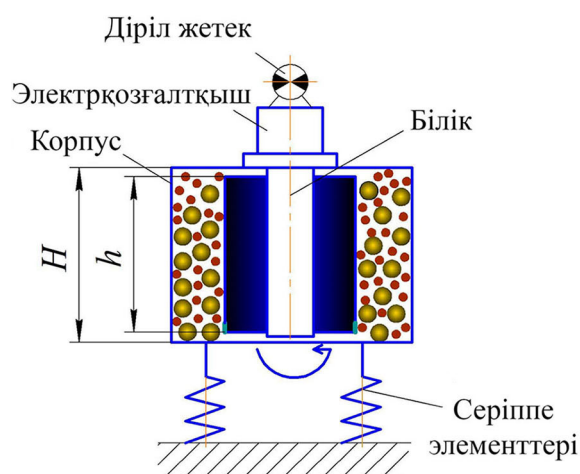
$d_{ш}$ – ұсақтағыш шарларының диаметрі;

d_0 – бөлшектердің диаметрі;

v – ұсақтағыш шарларының жылдамдығы;

$m_{ш}$ – ұсақтағыш шарларының массасы.

(3) формуласына негізделіп, ұнтақтаудың теориялық жіңішкелігін есептеуге арналған формуласы анықталды:



2-сурет – Ұсақтағыштың жаңа конструкциясы

$$d_6^{(\min)} = d_6 \left(\frac{v^2 \cdot [\sigma]}{5231,285 \cdot d_m^2 \cdot \gamma_c \cdot (1 - 2\mu)} - 1 \right), \text{ мкм}, (4)$$

мұндағы $d_6^{(\min)}$ – бөлшектің минималды диаметрі (ұнтақтаудың жіңішкелігі), мм;

d_6 – бөлшектің бастапқы диаметрі, мкм;

$[\sigma]$ – бөлшектің шекті кернеуі, Па;

γ_c – тегістеу шарының тығыздығы, кг/мм³.

Ұсынылған ұсақтағыштың тиімділігін зерттеу үшін, (4) формуласын пайдаланып есептеу эксперименті жүргізілді. Есептеу эксперименті авторлар жасаған математикалық модель негізінде құрылған өзінің компьютерлік бағдарламасының көмегімен жүргізілді (3-сурет).

Зерттеудің нәтижелері. Есептеу экспериментіндегі бөлшектердің бастапқы диаметрінің мәндері: $d_6 = 100$ мкм, камераның диаметрі $D_K = 120$ мм, шардың диаметрі $d_{ш} = 10$ мм, эллипсоидты активатордың үлкен жартылай білігінің мәні $b = 40$ мм, эллипсоидты активатордың кіші жарты білігінің мәні $c = 30$ мм.

Жаңа ұсақтағыштың кинематикалық параметрлері келесі сипаттамаларымен ұсынылған: эллипсоидты ротордың айналу жылдамдығы n_R , камераның тербеліс амплитудасы A және теңгерімсіз біліктің айналу жылдамдығы n_A .

Факторлардың өзгеру деңгейлері келесі параметрлер ауқымына сәйкес келеді: $1000 \leq n_R \leq 2000$ айн/мин, $2,5 \leq A \leq 3,5$ мм және $1000 \leq n_A \leq 3000$ айн/мин.

4-суретте ұнтақтаудың жіңішкелігі мен эллипс роторының айналу жиілігінің жылдамдығы-

ның байланысы көрсетілген.

4-суреттен радиалды және аксиальді бағыттарда ($n_R = 2000$ айн/мин, $A = 3,5$ мм, $n_A = 3000$ айн/мин кезінде) бөлшекке аралас әсер ету кезінде ұнтақтаудың ең жоғары жіңішкелігі $d_{6RA}^{(\min)} = 1,86$ мкм құрайтыны келіп шығады. Ұсақтылықтың тек бір факторға – эллипсоидты ротордың айналу жылдамдығына тәуелділігін зерттеу нәтижелері максималды соңғы өлшем $d_{6R}^{(\min)} = 2,83$ мкм екенін көрсетті. Сондықтан, ұсақтағыштың жаңа конструкциясы ұнтақтаудың тиімділігін 35% немесе 1,5 есе арттыруға мүмкіндік береді.

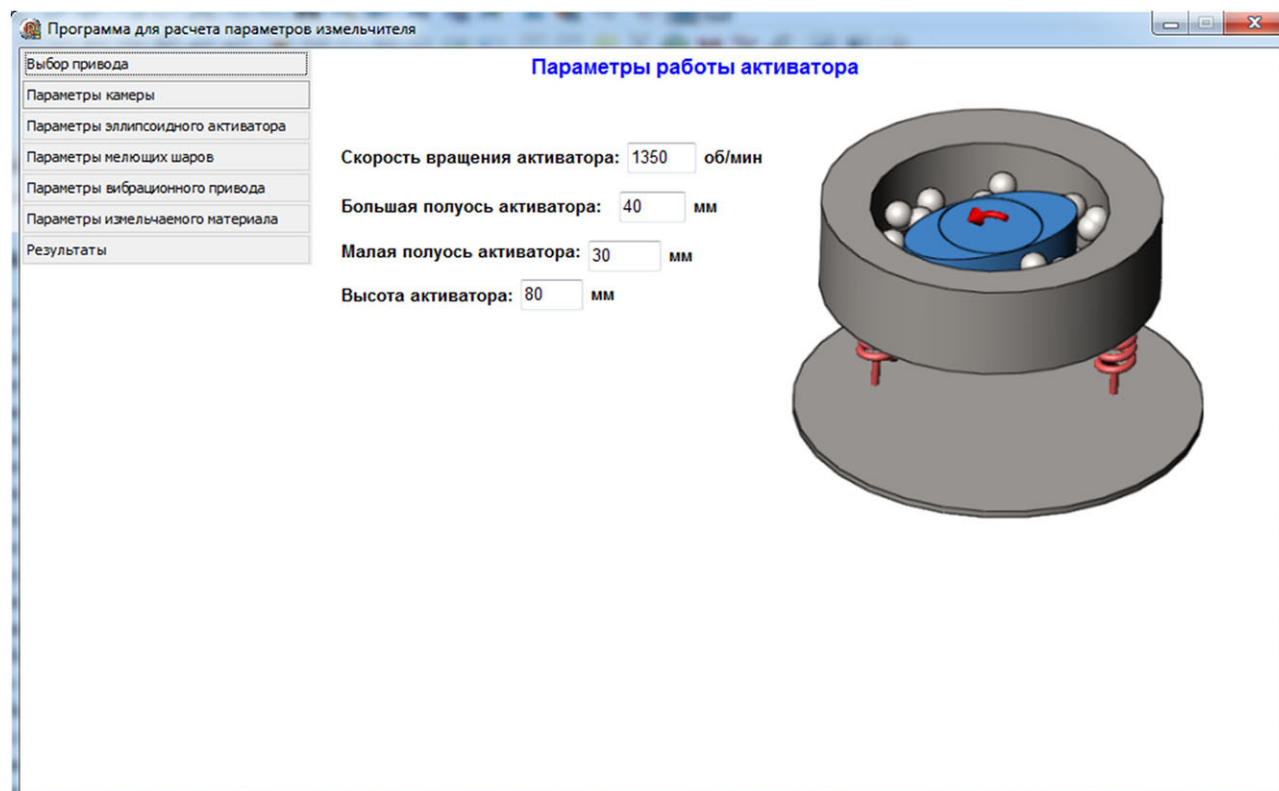
5-суретте ұнтақтау жіңішкелігі мен тербеліс амплитудасының тәуелділігі бейнеленген.

5-суреттен ротормен әрекеттескенде амплитудасының өзгеруі ұсақтау нәтижелеріне айтарлықтай әсер етпейді, бұл эллипсоидты ротордың айналу жылдамдығы параметрінің үстемдігімен түсіндіріледі. Жоғарыда айтылғандай, ротормен бірге әрекет ету кезінде ұнтақтаудың максималды жіңішкелігі $d_{6RA}^{(\min)} = 1,86$ мкм, ал қарапайым әсер ету кезінде – $d_{6A}^{(\min)} = 5,41$ мкм құрайды. Демек, ротормен бірге әсер еткенде ұнтақтаудың жіңішкелігі 3 есе артады.

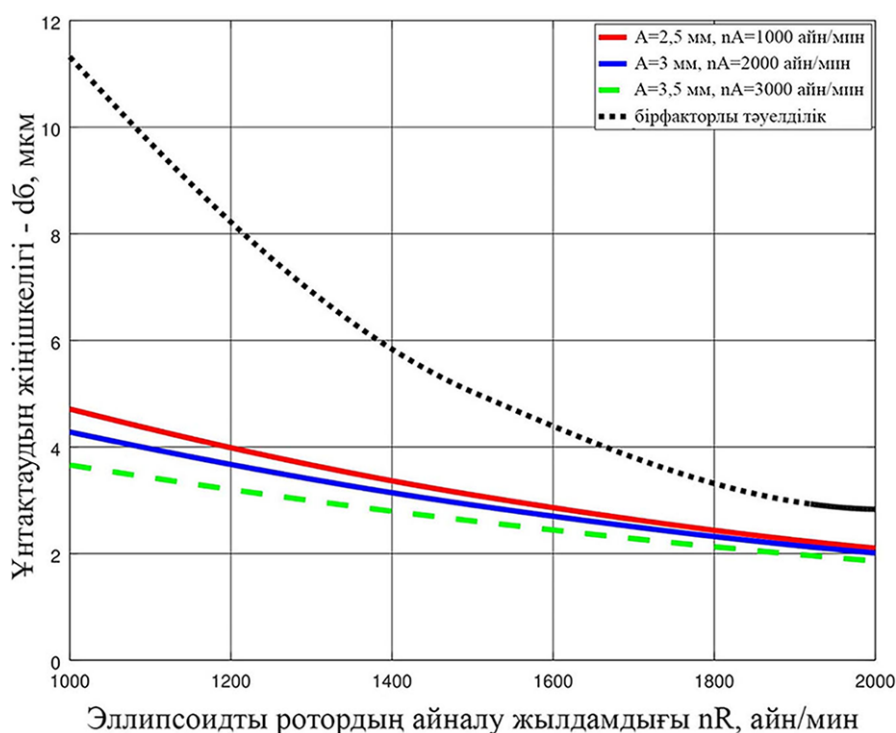
Сонымен қатар, $A = 2,5$ мм, $A = 3$ мм және $A = 3,5$ мм амплитудасының тұрақты мәндеріндегі теңгерімсіз біліктің айналу жиілігіне тәуелділігін анықтау жүргізілді.

6-суретте ұнтақтау жіңішкелігі мен дебаланс білігінің айналу жиілігінің тәуелділігі көрсетілген.

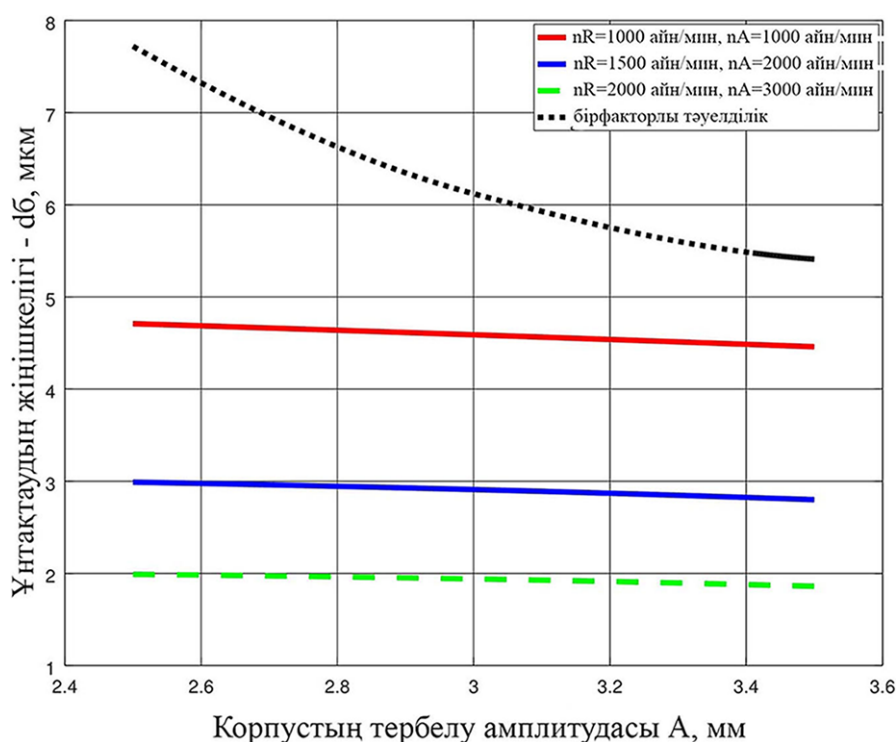
Қорытынды. Сонымен, осы мақаланы қорытындылай келе, келесі қорытынды жасауға



3-сурет – Компьютерлік бағдарламаның негізгі терезесі



4-сурет – Ұнтақтаудың жіңішкелігі мен эллипс роторының айналу жиілігінің жылдамдығының байланысы



5-сурет – Ұнтақтау жіңішкелігі мен тербеліс амплитудасының тәуелділігі

болады:

1. Материалдарды ұсақтау үшін ұсақтағыштың жаңа конструкциясы жасалды. Ұсақтағыштың жаңа конструкциясында ұнтақтау тиімділігін арттыру материалдың бөлшектеріне ерекше әсер ету арқылы жүзеге асырылады.

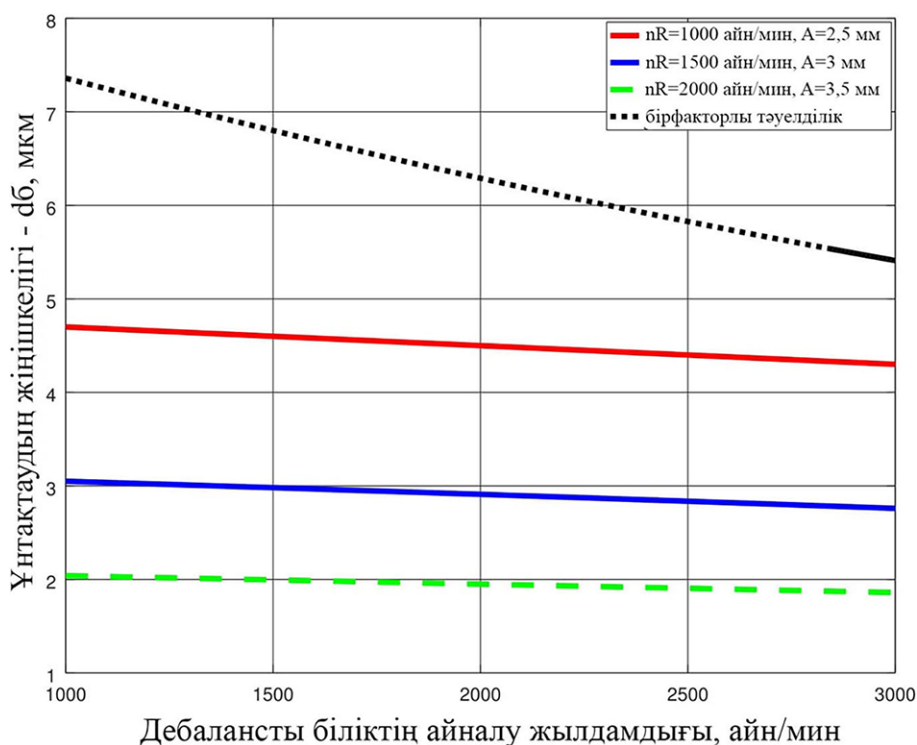
2. Ұнтақтау процесінің теориялық жіңішкелігін анықтау үшін, екі ұсақтағыш шарымен

бөлшектерді ұсақтаудың математикалық моделі жасалды.

3. Әзірленген математикалық модель негізінде жаңа конструкцияның тиімділігін теориялық бағалау үшін есептеу эксперименті жүргізілді. Жаңа ұсақтағыштың теориялық зерттеулерінің нәтижелері ұсақтағыштың ең жоғары параметрлері кезінде майдаланатын материалдың бөлшектері-

не аралас әсер ету кезінде ұнтақтаудың ең жоғары теориялық жіңішкелігі 1,86 мкм құрағанын көрсетті, бұл эллипсоидты ротордың (2,83 мкм) ор-

динарлық әсер етуінен 1,5 есе көп және діріл жетегінің (5,41 мкм) ординарлық әсер етуінен 3 есе көп.



6-сұрет – Ұнтақтау жіңішкелігі мен дебаланс білігінің айналу жиілігінің тәуелділігі

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. A. Racz, B. Csoke, Application of the product related stress model for product dispersity control in dry stirred media milling, International Journal of Mineral Processing. – No. 157. – 2016. – Pp. 28-35.
2. Sinnott M.D., Morrison R.D., Cleary P.W. Is media shape important for grinding performance in stirred mills? // Minerals Engineering. – 2011. – Pp. 138-151.
3. Ipek H. The effects of grinding media shape on breakage rate // Minerals Engineering. – 2006. – Pp. 91-93.
4. Lameck N.S., Moys M.H. Effects of media shape on milling kinetics // Minerals Engineering. – 2006. – Pp. 1377-1379.
5. C. Jayasundara, R. Yang, A. Yua, J. Rubenstein, Effects of disc rotation speed and media loading on particle flow and grinding performance in a horizontal stirred mill, International Journal of Mineral Processing. – No. 96. – 2010. – Pp. 27-35.
6. M. Riley, S. Pinkney, S. Blackburn, N. Rowson, Spatial distributions of media kinetic energy as measured by positron emission particle tracking in a vertically stirred media mill, Mineral Engineering. – No. 98. – 2016. – Pp. 177-186.
7. Байгереев С.Р., Гурьянов Г.А. Совершенствование мельниц с побуждающим рабочим органом на основе анализа основных факторов, влияющих на эффективность помола // Труды университета (Карагандинский государственный технический университет). – 2018. – № 3. – С. 22-26.
8. Baigereyev S., Guryanov G. New method for increase in product fineness in stirred mills // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2019. – No. 3. – Pp. 768-778. DOI: 10.1016/j.acme.2019.03.003
9. Гурьянов Г.А., Байгереев С.Р. Устройство для тонкого измельчения материалов // Патент на изобретение РК № 33204. МПК 2017/0469.1. Опубл. 15.10.2018, бюл. № 40.
10. Абдеев Б.М., Байгереев С.Р., Гурьянов Г.А. Обобщенная динамическая теория измельчения частицы твердого вещества импульсно-силовым сжатием двумя недеформируемыми шарами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2018. – № 4. – С. 278-289. DOI: 10.15593/perm.mech/2018.4.25

Исследование новой конструкции мельницы для тонкого измельчения материалов

^{1*}БАЙГЕРЕЕВ Самат Рахимгалиевич, PhD, старший преподаватель, samat.baigereyev@mail.ru,

¹ГУРЬЯНОВ Георгий Александрович, к.т.н., профессор, gguryanov@mail.ru,

¹АБДЕЕВ Борис Масгутович, к.т.н., профессор, m.abdeeva@mail.ru,

²СУЛЕЙМЕНОВ Ансаган Дюсембаевич, старший преподаватель, ansar_muslim_91@mail.ru,

³КИМ Вадим Александрович, начальник конструкторского отдела, k-v-a@list.ru,

¹НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. А.К. Протозанова, 69,

²НАО «Торайгыров университет», Казахстан, Павлодар, ул. Ломова, 64,

³ООО «ПСК «Инженерные решения», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. Д. Серикбаева, 37,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель работы – исследование новой конструкции мельницы для тонкого измельчения материалов. В статье представлена новая конструкция роторного типа для тонкого измельчения материалов. Разработка конструкции направлена на повышение эффективности измельчения материалов посредством получения продукта с повышенной тонкостью помола. В основе конструкции заложен принцип неординарного воздействия на частицы измельчаемого материала (воздействие в радиальном и осевом направлениях). Данный принцип реализован посредством разработки профиля ротора измельчителя в форме эллипса и вибрационного привода. Эффективность предлагаемой конструкции подтверждена результатами вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: мельница, материал, ротор, частица, мелющий шар, энергия измельчения, вибрация, привод, напряжение, амплитуда колебаний, тонкость помола, дебалансный вал.

Investigation of a New Mill Design for Fine Grinding of Materials

¹*BAIGEREYEV Samat, PhD, Senior Lecturer, samat.baigereyev@mail.ru,

¹GURYANOV Georgiy, Cand. of Tech. Sci., Professor, gguryanov@mail.ru,

¹ABDEYEV Boris, Cand. of Tech. Sci., Professor, m.abdeeva@mail.ru,

²SULEIMENOV Ansagan, Senior Lecturer, ansar_muslim_91@mail.ru,

³KIM Vadim, Head of Design Department, k-v-a@list.ru,

¹NCJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», Kazakhstan, Oskemen, A.K. Protozanov Street, 69,

²NCJSC «Toraighyrov University», Kazakhstan, Pavlodar, Lomov Street, 64,

³PSK Engineering Solutions LLP, Kazakhstan, Oskemen, D. Serikbayev Street, 37,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the work is to study a new mill design for fine grinding of materials. The article presents a new design of stirred mill for materials grinding. The design development is directed to increasing the efficiency of grinding materials by obtaining a product with increased product fineness. The design is based on the principle of a special effect on the particles (the effect of radial and axial direction). This principle is realized by creating a geometry of the stirrer in the form of an ellipse and a vibration drive. The effectiveness of the proposed design is confirmed by the results of computational experiment.

Keywords: mill, material, stirrer, particle, grinding ball, grinding energy, vibration, drive unit, stress, oscillation amplitude, product fineness, unbalance shaft.

REFERENCES

1. A. Racz, B. Csoke. Application of the product related stress model for product dispersity control in dry stirred media milling. International Journal of Mineral Processing. 2016, no. 157, pp. 28-35.
2. Sinnott M.D., Morrison R.D., Cleary P.W. Is media shape important for grinding performance in stirred mills. Minerals Engineering. 2011, pp. 138-151.
3. Ipek H. The effects of grinding media shape on breakage rate. Minerals Engineering, 2006, pp. 91-93.
4. Lameck N.S., Moys M.H. Effects of media shape on milling kinetics. Minerals Engineering. 2006, pp. 1377-1379.
5. C. Jayasundara, R. Yang, A. Yua, J. Rubenstein. Effects of disc rotation speed and media loading on particle flow and grinding performance in a horizontal stirred mill. International Journal of Mineral Processing. 2010, no. 96, pp. 27-35.
6. M. Riley, S. Pinkney, S. Blackburn, N. Rowson. Spatial distributions of media kinetic energy as measured by positron emission particle tracking in a vertically stirred media mill. Mineral Engineering. 2016, no. 98, pp. 177-186.
7. Baigereyev S.R., Guryanov G.A. Sovershenstvovanie mel'nits s pobuzhdayushchim rabochim organom na osnove analiza osnovnykh faktorov, vliyayushchih na effektivnost' pomola [Improvement of mills with a stimulating working body based on the analysis of the main factors affecting the grinding efficiency]. Trudy universiteta [University Proceedings]. 2018, no. 3, pp. 22-26.
8. Baigereyev S., Guryanov G. New method for increase in product fineness in stirred mills. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2019, no. 3, pp. 768-778. DOI: 10.1016/j.acme.2019.03.003
9. Guryanov G.A., Baigereyev S.R. Ustrojstvo dlya tonkogo izmel'cheniya materialov [Device for fine grinding of materials]. Patent na izobretenie [Invention Patent]. 15.10.2018, no. 33204. 2017/0469.1, bul. No. 40.
10. Abdeyev B.M., Baigereyev S.R., Guryanov G.A. Obobshchennaya dinamicheskaya teoriya izmel'cheniya chasticy tverdogo veshchestva impul'sno-silovym szhatiem dvumya nedeformiruemyimi sharami [Generalized dynamic theory of solid particle grinding by pulse-force compression by two non-deformable balls]. Vestnik PNIPU. Mekhanika. [PNIPU Mechanics Bulletin]. 2018, no. 4, pp. 278-289. DOI: 10.15593/perm.mech/2018.4.25