

https://doi.org/10.51885/3134-8009_IJS_2026_2_3

XFTAP 55.33.41

ҰСАҚТАЛАТЫН МАТЕРИАЛҒА ҚАРАМА-ҚАРСЫ ӘСЕР ЕТЕТІН ЭНЕРГИЯ КЕРНЕУЛІ СОҚҚЫЛЫ ҰНТАҚТАҒЫШТАРДА ЖҰҚА ҰНТАҚТАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯХ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ СО ВСТРЕЧНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ИЗМЕЛЬЧАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FINE GRINDING IN ENERGY-INTENSIVE IMPACT MILLS WITH COUNTER-IMPACT ACTION ON THE MATERIAL BEING GROUND

Г.А. Гурьянов ^{1*}, С.Р. Байгереев ², А.В. Ликуннов ¹, М.В. Дудкин ¹,
О.Ю. Васильева ²

¹«ИННОТЕХ ғылыми-өндірістік бірлестігі» ЖШС, Өскемен қ., Қазақстан

²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Гурьянов Георгий Александрович, e-mail: gguryanov@mail.ru

Түйінді сөздер:

жою, ұнтақтау,
ұсақтағыш, диірмен,
материал, бөлшек,
тиімділік, эксперимент.

ТҮЙІНДЕМЕ

Ұсақтау жабдықтарын жетілдіру мақсатында ұсақ ұнтақтау тиімділігін арттыру үшін материалдарды ұсақ ұнтақтау күйіне талдау жүргізілді, соққы әсерін ұсақ ұнтақтау үшін қолдану негізделген. Материалдарды соққы әсерімен ұсақтау процесін қарқындату мәселесінің мүмкін шешімдерінің бірі ұсынылған, жұмысты ұйымдастырудың жаңа схемасы және жоғары энергия кернеуі бар соққы әрекетін ұсақтағыш жасалған. Соққымен ұнтақтау процесінің Шығыс және кіріс параметрлерін байланыстыратын эмпирикалық-теориялық модель ұсынылады. Жұмысты ұйымдастырудың жаңа схемасымен ұсақтағыштың тиімділігі мен тиімділігін дәлелдейтін жұмысты ұйымдастырудың типтік және жаңа схемасы бойынша соққы әсерімен ұнтақтау процесін салыстырмалы эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Материалға қарсы әсері бар соққыға арналған ұсақтағыштардың жаңа дизайн схемалары келтірілген. Соққымен ұсақтау процесінің тиімділігін арттырудың бір әдісі туралы жаңа ақпарат алынды. Жұмыс нәтижелері соққы әсерінен ұсақ ұнтақтау процестерін одан әрі зерттеуге, ұсақ ұнтақтау процестері мен жабдықтарын дамытуға және жетілдіруге негіз болады.

Ключевые слова:

разрушение, измельчение,
измельчитель, мельница,
материал, частица,

АННОТАЦИЯ

С целью совершенствования измельчительного оборудования для повышения эффективности тонкого измельчения проведен анализ состояния тонкого измельчения материалов, обосновано применение



эффективность,
эксперимент.

ние для тонкого измельчения ударного воздействия. Представлено одно из возможных решений задачи интенсификации процесса тонкого измельчения материалов ударным воздействием, разработан измельчитель ударного действия с новой схемой организации работы и повышенной энергонапряженностью. Предлагается эмпирико-теоретическая модель, связывающая выходные и входные параметры процесса измельчения ударом. Приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований процесса измельчения ударным воздействием по типовой и по новой схеме организации работы, доказывающие работоспособность и эффективность измельчителя с новой схемой организации работы. Приведены новые конструктивные схемы измельчителей ударного действия со встречным воздействием на материал. Получены новые сведения об одном из способов повышения эффективности процесса тонкого измельчения ударом. Результаты работы являются основой для дальнейших исследований процессов тонкого измельчения ударным воздействием, развития и совершенствования процессов и оборудования для тонкого измельчения.

keywords:

destruction, grinding,
grinder, mill, material,
particle, efficiency,
experiment.

ABSTRACT

In order to improve the grinding equipment to increase the efficiency of fine grinding, an analysis of the state of fine grinding of materials has been carried out, and the use of impact for fine grinding has been substantiated. One of the possible solutions to the problem of intensifying the process of fine grinding of materials by impact is presented, an impact grinder with a new work organization scheme and increased energy stress has been developed. An empirical and theoretical model is proposed that relates the output and input parameters of the impact grinding process. The results of comparative experimental studies of the grinding process by impact according to the standard and according to the new scheme of work organization are presented, proving the efficiency and effectiveness of the grinder with the new scheme of work organization. New design schemes of impact grinders with counter impact on the material are presented. New information has been obtained about one of the ways to increase the efficiency of the fine grinding process by impact. The results of the work are the basis for further research of fine grinding processes by impact, development and improvement of processes and equipment for fine grinding.

КІРІСПЕ

Жұқа ұнтақтау процестері құрылыс, кен байыту, металлургия, химия және басқа да көптеген өнеркәсіптік технологиялардың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады (Hergesell et al., 2025; Address et al., 2026; Johanson, 2013). Алайда қазіргі өнеркәсіптің даму деңгейі материалдар мен компоненттерді алудың бұрынғы әдістері олардың сипаттамаларына қойылатын талаптарды толық қанағаттандыра алмайтынын көрсетеді. Бұл ретте материал бөлшектерінің ірілігі мәселесіне ерекше назар аударылады, өйткені қатты күйдегі заттардың қатысуымен жүретін процестердің жылдамдығы, сапасы және толықтығы, мысалы құрылыс қоспаларын дайындау немесе кендерді байыту және т.б., дисперстіліктің артуымен едәуір жоғарылайды.

Ұнтақтау процесі, әдетте, қатты денелерді әртүрлі механикалық әсерлердің бірізді қатары арқылы бұзудан тұрады. Тәжірибеде жұқа ұнтақтау сығу, үйкеу және соққы арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

Алайда ұнтақтау тәсіліне қарамастан, жұқа және әсіресе аса жұқа ұнтақтау кезінде жоғары дисперсті бөлшектерді алу белгілі бір қиындықтарға тап болады. Жұқа ұнтақтау процесінде бөлшектердің дисперстілігі артқан сайын олардың ұнтақталуы алдымен қиындайтын, ал белгілі бір, осы материал мен ұнтақтағыш үшін шекті дисперстілікке жеткеннен кейін мүмкін болмай, тоқтайтын сәт туындайды (Sterling, Breitung-Faes & Kwade, 2024; Rhymer et al., 2024).

Осылайша, материал бөлшегін механикалық жолмен шексіз кіші өлшемге дейін бұзу мүмкін емес, әсіресе бір ғана ұнтақтағышта. Әрбір ұнтақтағыш пен материал үшін бөлшектердің ең төменгі өлшемі болады, осы өлшемнен бастап ұнтақтау әсерін одан әрі күтуге болмайды. Сонымен қатар, қолданыстағы ұнтақтағыштар мұндай ұнтақтау шегіне де жетуге мүмкіндік бермейді, яғни механикалық ұнтақтаудың және оны жүзеге асыратын құрылғылардың әлеуеті толық пайдаланылмаған. Бұл қолданыстағы ұнтақтағыштарды жетілдіруді және тиімділігі жоғары жаңа ұнтақтағыштарды жасауды талап етеді.

Жұмыстың мақсаты — жұқа ұнтақтау процестерінің тиімділігін арттыру үшін ұнтақтау жабдықтарының жекелеген түрлерін жетілдіру.

Айта кету керек, барлық тәсілдер жұқа ұнтақтау кезінде бірдей жақсы нәтиже бере бермейді. Ұнтақталатын материалды сығу және үйкеу процестері жоғары энергия сыйымдылығымен ерекшеленетіні белгілі (Johanson, 2013; Sterling, Breitung-Faes & Kwade, 2024; Rhymer et al., 2024).

Осы тұрғыдан алғанда, материалдардың морт бөлшектерін бұзу процесі үшін соққылы әсер әлдеқайда тиімді болуы мүмкін (Dey & Das, 2013; Nied, 2007; Azhgalieva et al., 2024). Ол бөлшектің деформациялану аймағында кернеулердің өте жоғары шоғырлануын тудырады, бұл бұзуға жұмсалатын жұмыс пен энергия шығындарын азайтады. Соққымен әсер ету процесінің технологиялық және энергетикалық тиімділігінің себебі оның импульстік сипатында, яғни өте қысқа уақыт аралығында әсер ету жылдамдығының аса жоғары болуында. Бұл ұнтақтаудың басқа түрлерімен салыстырғанда бұзушы күштер мен қуаттардың едәуір жоғары мәндерін алуға мүмкіндік береді. Демек, қажетті өлшемге дейін жоғары жылдамдықты соққылы әсер арқылы ұнтақтау кезінде статикалық жүктеумен салыстырғанда қажетті әсерлер саны мен ұнтақтау уақыты азаяды, бұл энергия шығынын төмендетіп, үнемді ұнтақтауды ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, «ИННОТЕХ» ҒӨБ» ЖШС-де цементті бастапқы 30 мкм ұнтақтылықтан соңғы 15 мкм ұнтақтылыққа дейін вибродиірменде сығу және үйкеу арқылы ұнтақтау мен дисмембраторда соққы арқылы ұнтақтауды салыстыру бойынша жүргізілген эксперименттер вибродиірменде ұнтақтау қозғалтқыш қуаты 1,4 кВт болғанда 3 минутқа созылғанын, ал дисмембраторда қозғалтқыш қуаты 1 кВт болғанда 30 секундқа созылғанын көрсетті. Энергия шығындарын салыстыру бөлшектерді соққы арқылы бұзудың энергия тиімділігі жоғары екенін көрсетеді.

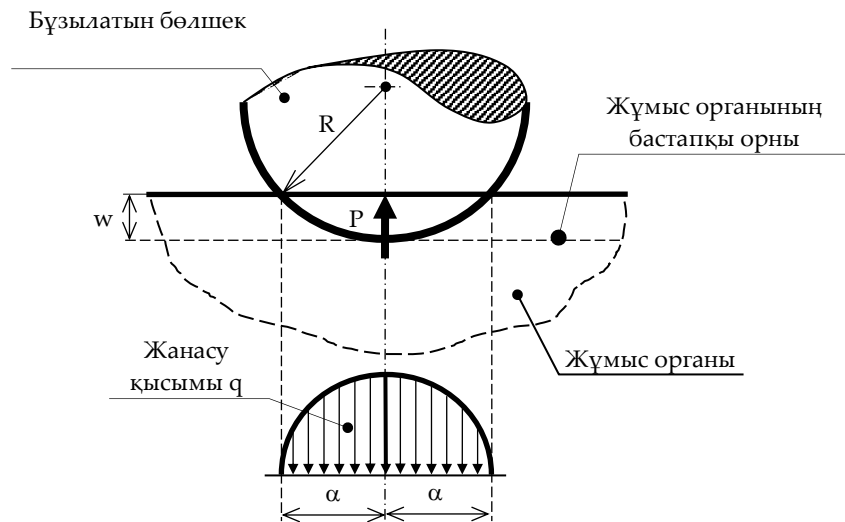
Осылайша, жұқа ұнтақтаудың тиімділігі мен шегін арттыру міндетін соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштарды қолдану есебінен шешу орынды. Демек, соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштарды олардың жұмысын ұйымдастырудың жаңа тәсілдері негізінде жетілдіру қажет: процесті қарқындату және энергия кернеулігін арттыру; уақыт бірлігінде бөлшектерге көптеген импульстік әсерлерді қолдану; жұмыс органдары мен материал ағындарының жылдамдық градиенттері жоғары болатын аралас қозғалысын пайдалану.

Соққы арқылы ұнтақтауды жүзеге асыратын құрылғылардың ішінде аэробильді диірмендер, дезинтеграторлар және басқа да құрылғылар ерекше қызығушылық тудырады. Оларда материал бөлшектері жұмыс органдарының көп мәрте соққылы әсері, сондай-ақ бөлшектердің өзара соқтығысуы нәтижесінде ұнтақталады (Nied, 2007; Azhgalieva et al., 2024).

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӨДІСТЕРІ

Соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштың жұмыс процесі мен тиімділігіне қандай параметрлер әсер ететінін түсіну үшін және оның жұмыс нәтижелерін болжау мақсатында материал бөлшегінің бұзылу процесінің теориялық механика-математикалық моделін аламыз. Бұл модельде материал бөлшегі диаметрі D (м) және массасы m (кг) болатын шар ретінде қарастырылады, ал соққылы әсер соқтығысу жылдамдығы v (м/с) кезінде жүзеге асып, w (м) тереңдікке дейін бұзылуы болжанады (Chimwani & Bwalya, 2021; Mhadhbi, 2023). Жұмыс органының материалдың сфералық бөлшегімен өзара әрекеттесу процесі екі дененің соқтығысуы туралы классикалық механика есебінің дербес жағдайын білдіреді (Guryanov & Abdeev, 2020).

1-суретте соққылы әрекеттегі жұмыс органының материалдың сфералық бөлшегімен жанаспалы өзара әрекеттесуінің есептік сұлбасы көрсетілген.



1-сурет. Соққылы әрекеттегі жұмыс органының сфералық бөлшекпен жанаспалы өзара әрекеттесуінің есептік сұлбасы

Ескерту – авторлар құрастырған

Жұмыс органының бөлшекпен жанасу аймағында пайда болатын жанасу қысымы q (Па) (1-сурет) келесі формула бойынша анықталуы мүмкін (Guryanov & Abdeev, 2020):

$$q = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \alpha^2}, \text{ Па}, \quad (1)$$

мұндағы P – жұмыс органының бөлшекке әсер ету күші, Н;

α – жұмыс органының сфералық бөлшекпен жанасу алаңының радиусы, м.

$$\alpha = \sqrt{w \cdot R}, \text{ м}. \quad (2)$$

мұндағы w – бөлшектің бұзылу деформациясы, м;

R – сфералық бөлшектің радиусы, м.

Сфералық бөлшекке жұмыс органының әсер ету күші P (Н) Ньютонның екінші заңы бойынша анықталып, бөлшектің w жолында деформациялануы кезінде жұмыс органының баяулау үдеуі a (м/с²) табылғаннан кейін, алмастырулар нәтижесінде жұмыс органының бөлшекке түсіретін жанасу қысымы q әсерінен туындайтын кернеудің тәуелділігі алынады (Guryanov et al., 2021):

$$\sigma = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot w^2} \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \geq [\sigma], \text{ Па.} \quad (3)$$

мұндағы m – бөлшектің массасы, кг;

v – соқтығысу жылдамдығы, м/с;

μ – бөлшек материалының Пуассон коэффициенті;

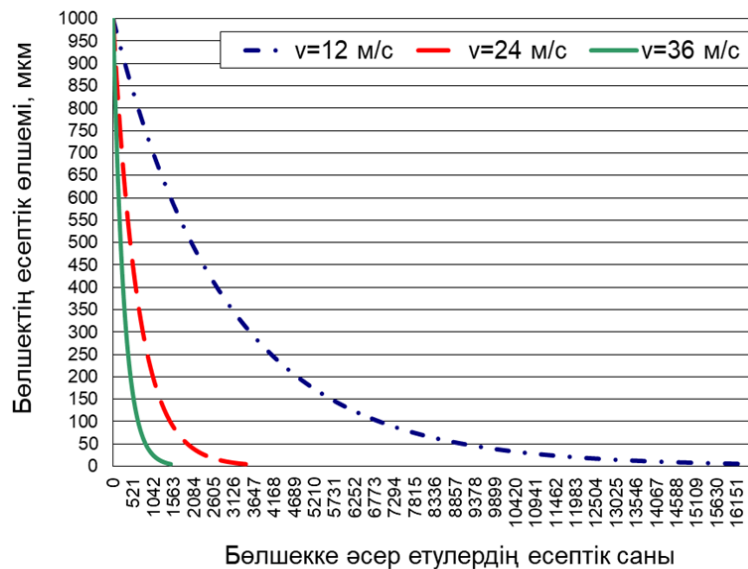
D – бөлшектің диаметрі, м; $[\sigma]$ – бөлшек материалының беріктік шегі, Па.

(3) формуладан, мысалы, бұзылатын бөлшектің деформация шамасын практикалық есептік анықтауға арналған өрнекті алуға болады:

$$w \leq \sqrt{\frac{m \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot v^2}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot [\sigma]}}, \text{ кг.} \quad (4)$$

Алынған формулалар негізінде тәуелділік графиктерін құруға болады. Оларды ұнтақтау процесінде бөлшек өлшемінің өзгеруін ескере отырып, әсер ету санына, бөлшек өлшеміне немесе оның беріктігіне байланысты жұмыс органының бөлшекпен соқтығысу жылдамдығын таңдау үшін пайдалануға болады. 5-суретте жұмыс органының бөлшекке әсер ету санына байланысты бөлшек өлшемінің өзгеру тәуелділігінің графиктері келтірілген.

2-суреттегі теориялық графиктер бөлшектер өлшемі азайған сайын ұнтақтау процесінің баяулайтыны туралы ұнтақтау теориясының белгілі қағидаларын, сондай-ақ соқтығысу жылдамдығының ұнтақтау тиімділігіне айқындаушы әсерін растайды. Бұл соққы арқылы ұнтақтау процесінің ұсынылған механика-математикалық моделінің сапалық тұрғыдан барабар екенін дәлелдейді. Сондықтан оны ұнтақтау процестерін практикалық есептеу үшін қолданудың әлеуетті мүмкіндігі бар деп айтуға болады. Бұл үшін эксперименттік тексеру жүргізіп, қажет болған жағдайда алынған математикалық тәуелділіктерге эмпирикалық түзету енгізу қажет.



2-сурет. Жұмыс органының бөлшекке әртүрлі соқтығысу жылдамдықтары кезінде жұмыс органының әсер ету санына байланысты бөлшек өлшемінің өзгеру тәуелділігі
Ескерту – авторлар құрастырған

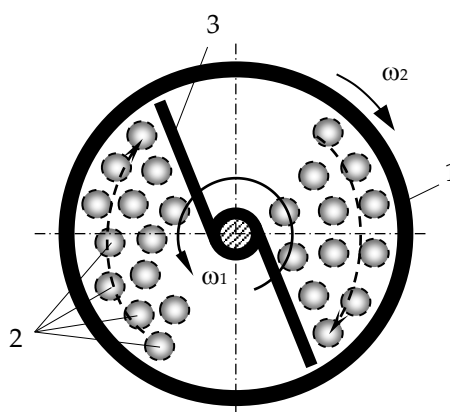
Алынған (3), (4) тәуелділіктерден бөлшекті бұзатын әсердің шамасы мен оның материалында туындайтын σ кернеулері бөлшектің массасы m мен диаметрі D өзгерген кезде өзгеруі мүмкін екені, ал оларды реттеу тек жұмыс органының соққы жылдамдығын v

өзгерту арқылы жүзеге асырылатыны көрінеді. Демек, жұмыс органының бөлшекпен соқтығысу жылдамдығы v соққы арқылы ұнтақтау процесінің тиімділігін арттыру мен ұнтақтау дәрежесін жоғарылатудың шешуші факторы болып табылады.

Осылайша, соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштарды жетілдіру соққы жылдамдығы мен энергиясын, яғни ұнтақтау процесінің энергия кернеулілігін арттыру тәсілдерін іздеу бағытымен жүргізілуі тиіс. Бұл ретте соқтығысу жылдамдығын анықтайтын соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштардың жұмыс органдары қозғалысының жылдамдығының өсу шегі бар екенін және ол ұнтақтағыштың техникалық сипаттамаларымен, сондай-ақ жұмыс органдары мен тірек тораптарының конструкциялық беріктігімен шектелетінін ескеру қажет. Сондықтан жұмыс органының материал бөлшегімен соқтығысу жылдамдығын арттырудың басқа тәсілі қажет.

Типтік аэробильді диірмендердің жұмысын талдау (Aragón et al., 2023; Mokgomola, 2021; Hongcheng et al., 2024) олардың ішінде, әдетте, соққы жылдамдығы тек жұмыс органының жылдамдығымен анықталатынын көрсетеді. Соқтығысу жылдамдығы, шын мәнінде, жұмыс органы мен материал бөлшегінің қарама-қарсы қозғалыс жылдамдығы екенін ескерсек, соқтығысу жылдамдығы мен бұзушы әсерді арттырудың қарапайым әрі тиімді тәсілі — жоғары жылдамдықты қосымша қозғалысты тек жұмыс органына ғана емес, сонымен бірге материал бөлшегіне де беру болып табылады. Бұл кезде жұмыс органы мен бөлшектің қозғалыс (жылдамдық) векторлары қарама-қарсы бағытталуы тиіс (Borg & Scharfe, 2015; Gupta, 2025; Baigereyev et al., 2025). Ол үшін жүйеге бөлшектердің жоғары жылдамдықты қозғалысын тудыратын тағы бір қосымша жұмыс органын енгізу қажет, ол сонымен қатар ұнтақтау камерасының жұмыс кеңістігіне энергияның қосымша берілуін қамтамасыз етеді.

3-суретте соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштың соққыштары мен материалдың қарама-қарсы қозғалысы және соқтығысу жылдамдығы арттырылған сұлбасы көрсетілген. Бұл сұлбада материал бөлшектерінің қарама-қарсы қозғалысы диірмен барабанының (корпусының) соққыштары бар ротордың айналу бағытына қарсы қосымша айналуы арқылы қамтамасыз етіледі.



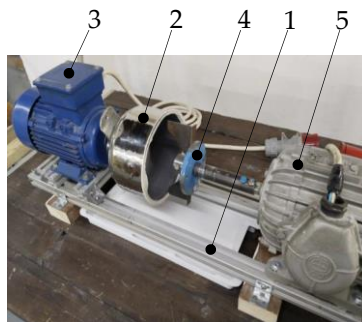
3-сурет. Соққыштар мен материалдың қарама-қарсы қозғалысы бар жетілдірілген соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштың сұлбасы: 1 – диірменнің корпусы (барабаны);
2 – материал бөлшектері; 3 – соққыштары бар ротор

Ескерту – авторлар құрастырған

Жұмысты ұйымдастырудың жаңа сұлбасының тиімділігін анықтау үшін осындай ұнтақтағыш моделінде эксперименттік зерттеулер жүргізілді (Yuhao et al., 2024; Salim et al., 2024; Guoming et al., 2010).

Эксперименттің мақсаты — материал бөлшектеріне қарама-қарсы әсер ететін және соқтығысу жылдамдығы арттырылған жұқа ұнтақтау ұнтақтағыштарының болжамды тиімділігін және қабылданған шешімдердің дұрыстығын тексеру.

Соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштарды эксперименттік зерттеуге арналған модель (4-сурет) көлденең орналасқан барабаннан 2 тұрады. Оның ішінде ұнтақтау камерасы бар және ол рамаға 1 бекітілген электрқозғалтқыштың 3 білігіне қатаң бекітілген. Сондай-ақ рамада 1, барабан қозғалтқышымен бір ось бойында, білігіне соққыштары бар ротор 4 орнатылған электрқозғалтқыш 5 орналасқан. Диірмен жұмыс істеген кезде бұл ротор ұнтақтау камерасына 2 енгізіледі. Диірмен жұмысы кезінде барабан 2 мен ротордың 4 бір мезгілде қарама-қарсы немесе бағыттас айналуы, сондай-ақ барабанның қозғалмайтын күйде болуы мүмкін. Электрқозғалтқыштардың 3 және 5 айналу жиілігін басқару үшін жиілік түрлендіргіштері қолданылады.



4-сурет. Соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау процесін эксперименттік зерттеуге арналған модель: 1 – рама; 2 – ұнтақтау камерасы (барабан); 3 – барабанның электрқозғалтқышы; 4 – соққыштары бар ротор; 5 – соққыштары бар ротордың электрқозғалтқышы

Ескерту – авторлар құрастырған

Эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін модельдік ұнтақталатын материал ретінде бастапқы бөлшек өлшемі 0,5...1 мм (500...1000 мкм) болатын фракцияланған құм таңдалды.

Ұнтақтау тиімділігін сипаттайтын шығыс параметрі ретінде ұнтақталған материал бөлшектерінің өлшемі d (мкм), меншікті беті S (см²/г), сондай-ақ ұнтақтау уақыты t (с) таңдалды. Теориялық модельге сәйкес кіріс параметрі ретінде соқтығысу жылдамдығын v (м/с) анықтайтын жұмыс органының айналу жиілігі n (айн/мин) таңдалды.

Эксперименттік зерттеулер екі кезеңде жүргізілді:

1) Материалға ординарлы әсер ету кезінде барабаны қозғалмайтын соққылы әрекеттегі диірменнің тиімділігін бағалау.

2) Материалға қарама-қарсы әсер ету кезінде қарама-қарсы айналатын барабаны бар соққылы әрекеттегі диірменнің тиімділігін бағалау.

Соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау қозғалмайтын және қарама-қарсы айналатын барабан жағдайында, яғни ішінде соққыштары бекітілген айналмалы ротор орнатылған диірменнің барабан-ұнтақтау камерасында жүзеге асырылды (4-сурет). Ұнтақтау процесінде барабан не айнарудан қатаң бекітілді, не электрқозғалтқыштың көмегімен соққыштары бар ротордың айналу бағытына қарсы айналдырылды. Ұнтақтағыштың әрбір бес минут жұмысынан кейін ұнтақтау камерасынан ұнтақталған материал сынамасы алынып, ұнтақтау жұқалығының ағымдағы мәні өлшенді. Ұнтақтау жұқалығының өзгеруі тоқтағанға дейін, яғни берілген жағдайлар үшін мүмкін болатын ең жоғары ұнтақтау жұқалығына жеткенге дейін жалғастырылды.

Соққыштары бар ротордың айналу жиілігі: 1350 айн/мин соқтығысу жылдамдығы $v=12$ м/с. Соққыштары бар ротордың 1350 айн/мин және барабанның 1390 айн/мин қарама-қарсы айналуының жиынтық жиілігі – 2740 айн/мин соқтығысу жылдамдығы $v = 24$ м/с. Ұнтақталатын материал массасы – 300 г.

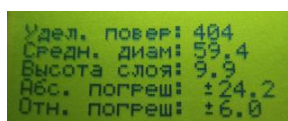
Ұнтақтау жұқалығын өлшеу үшін ПСХ-11М аспабы және PCE-WS-30 электрондық таразысы қолданылды.

Қозғалмайтын және қарама-қарсы айналатын барабан жағдайындағы соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау процесінің нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

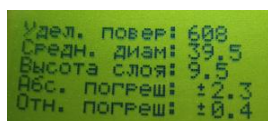
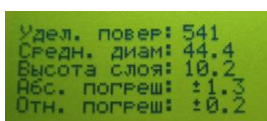
1-кесте. Соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау процесінің нәтижелері

Ұнтақтау уақыты	Ұнтақтау процесін ұйымдастыру			
	Қозғалмайтын барабанмен: 1350 айн/мин		Қарама-қарсы айналатын барабанмен: 2740 айн/мин	
	Меншікті беті, S, см ² /г Бөлшектердің орташа диаметрі, d, мкм	Меншікті беті, S, см ² /г Бөлшектердің орташа диаметрі, d, мкм	Меншікті беті, S, см ² /г Бөлшектердің орташа диаметрі, d, мкм	Меншікті беті, S, см ² /г Бөлшектердің орташа диаметрі, d, мкм
5 мин	404	59,4	608	39,5
10 мин	475	50,5	1465	16,4
15 мин	521	46,1	1968	12,2
20 мин	535	44,9	2015	11,9
25 мин	541	44,4	2019	11,9
Ескерту – авторлар құрастырған				

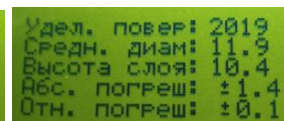
5-суретте ПСХ-11М аспабы арқылы ұнтақталған материалдың ұнтақтылығын өлшеудің жекелеген нәтижелері көрсетілген.



а



б



5-сурет. Айналу жиілігі 1350 айн/мин (а) және 2740 айн/мин (б) болған кезде бірінші және соңғы өлшеу үшін материалдың ұнтақтау жұқалығын өлшеу нәтижелері (1-кесте)

Ескерту – авторлар құрастырған

Теориялық механика-математикалық ұнтақтау процесі моделін (3-формула) эксперименттік зерттеу нәтижелері негізінде түзету үшін бөлшектің бір соққыш әсерінен бұзылу тереңдігі w көрсетілген туынды (4) формула алынды.

Шынайы жағдайда бөлшекті ұнтақтау үшін қажетті әсерлер санын және бір әсер кезінде бұзылатын материал көлемін физикалық тұрғыдан анықтау мүмкін болмағандықтан, жүргізілген эксперименттер негізінде әзірленген әдістеме бойынша бөлшекті ұнтақтау үшін қажетті есептік әсерлер саны ұнтақтау уақытына келтірілді. Бұл сәйкестік түзетуші эмпирикалық коэффициент арқылы өрнектелді, оның мәні кейін теориялық (4) формулаға қойылды.

Келесі параметрлерді енгіземіз:

– бөлшекті қажетті өлшемге дейін ұнтақтау үшін уақыт бірлігіндегі шартты әсерлер саны in_{γ} (соққы/мин) — ұнтақтағыш билерінің саны z мен жұмыс органының айналу жиілігі n_{PO} көбейтіндісі;

– бөлшекті қажетті өлшемге дейін ұнтақтау үшін есептік әсерлер саны in_p (соққы) — теориялық тәуелділіктер немесе 2-суреттегі график негізінде анықталады;

– шартты ұнтақтау уақыты t_{γ} (мин) — есептік әсерлер санының in_p (соққы) шартты әсерлер санына in_{γ} (соққы/мин) қатынасы;

– нақты ұнтақтау уақыты t_{ϕ} (мин) — 1-кесте бойынша анықталады;

– түзетуші эмпирикалық коэффициент k_{ϕ} — соққыштың бір әсері кезіндегі нақты бұзылу тереңдігінің w_{ϕ} соққыштың бір әсері кезіндегі теориялық (есептік) бұзылу тереңдігіне w қатынасы немесе шартты ұнтақтау уақытының t_{γ} нақты ұнтақтау уақытына t_{ϕ} қатынасы:

$$k_{\phi} = \frac{w_{\phi}}{w_p} = \frac{t_{\gamma}}{t_{\phi}};$$

– соққыштың бір әсері кезіндегі нақты бұзылу тереңдігі w_{ϕ} (м), (4) формула негізінде:

$$w_{\phi} = k_{\phi} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot v^2}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot [\sigma]}}, \text{ м.}$$

Қажетті шамалардың мәндері және әзірленген әдістеме бойынша есептеу нәтижелері 2-кестеде ұсынылған.

2-кесте. Теориялық модельге түзетуші эмпирикалық коэффициентті анықтау нәтижелері

Есептеу параметрлері	Ординарлы әсер ету	Қарама-қарсы әсер ету
Бөлшектердің бастапқы өлшемі, D, мкм	1000	1000
Бөлшектердің соңғы өлшемі, d, мкм	44,4	11,9
Соққыштар саны, z	2	2
Жұмыс органының айналу жиілігі, n, айн/мин	1350	2740
Бөлшекке әсер етудің шартты саны, i _н , соққы/мин	2700	5480
Бөлшекке әсер етудің есептік саны, i _р , соққы.	9450	13733
Шартты ұнтақтау уақыты, t _γ , мин	3,5	2,51
Нақты ұнтақтау уақыты, t _φ , мин	25	20
Түзетуші эмпирикалық коэффициент, k _ε	0,14	0,13
Соққыштың бір әсері кезіндегі нақты бұзылу тереңдігі, w _φ , м.	$w_{\phi} = (0,13...0,14) \cdot \sqrt{\frac{m \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot v^2}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot [\sigma]}}$	
Ескерту - авторлар құрастырған		

k_{ϕ} түзетуші эмпирикалық коэффициентінің мәндері екі жағдайда да жеткілікті түрде жақын, ауытқу 7...8 % құрайды, бұл жұқа ұнтақтау процестері үшін өте дәл нәтиже болып табылады. Бұл қабылданған жорамалдардың, ұсынылған тәсілдердің және ұнтақтау процесінің теориялық моделін түзету әдістемесінің дұрыстығын көрсетеді. Жалпылай алғанда, практика үшін жеткілікті дәлдікпен түзетуші коэффициенттің өзгеру диапазонын $k_{\phi} = 0,1...0,2$ деп қабылдауға болады.

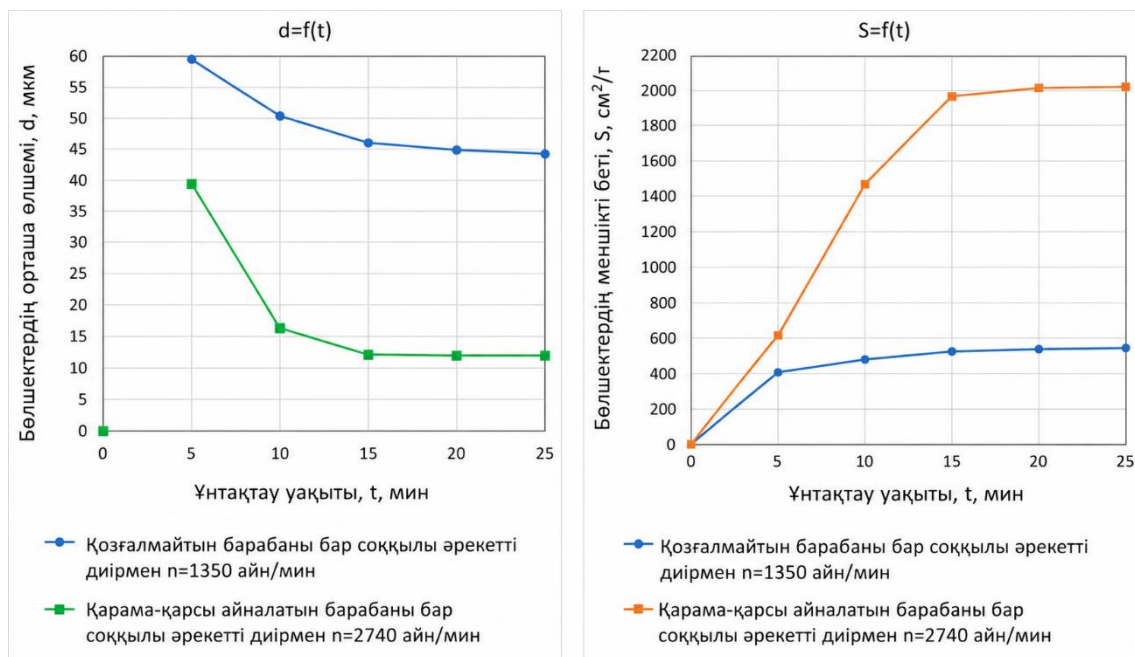
НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Салыстыру үшін соққылы әрекеттегі диірменде қозғалмайтын және қарама-қарсы айналатын барабан жағдайындағы ұнтақтау нәтижелерін 3-кестеге жинақтаймыз.

3-кесте. Ұнтақтау процесін әртүрлі ұйымдастыру жағдайында соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау процесінің нәтижелерін салыстыру

1350 айн/мин кезінде қозғалмайтын барабаны бар соққылы әрекеттегі диірмен	Бөлшектердің орташа өлшемі, d_1 , мкм	44,4
	Ұнтақтау уақыты, t_1 , мин	25
2740 айн/мин кезінде қарама-қарсы айналатын барабаны бар соққылы әрекеттегі диірмен	Бөлшектердің орташа өлшемі, d_1 , мкм	11,9
	Ұнтақтау уақыты, t_1 , мин	20
Ұнтақтау жұқалығының қатынасы	$d_2/d_1=44,4/11,9=3,7$	
Шекті өлшемге дейін ұнтақтау уақытының қатынасы (11,9 мкм және 44,4 мкм)	$t_2/t_1=20/25=0,8$	
≈ 40 мкм өлшемге дейін ұнтақтау уақытының қатынасы	$t_2/t_1=25/5=5$	
Ескерту – авторлар құрастырған		

6-суретте соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау процесін ұйымдастырудың әртүрлі тәсілдері үшін ұнтақтау кинетикасының графиктері ұсынылған.



6-сурет. Соққылы әрекеттегі диірмендегі ұнтақтау кинетикасының графиктері
Ескерту – авторлар құрастырған

Соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау нәтижелерін, 3-кестеде және 6-суретте келтірілген мәліметтерді салыстыра отырып, келесі қорытындылар жасауға болады.

Материалға қарама-қарсы ұнтақтаушы әсер ету және соқтығысу жылдамдығын 2 есе арттыру жағдайында соққылы әрекеттегі диірменде ұнтақтау процесін ұйымдастырудың жаңа тәсілі қозғалмайтын барабаны бар диірменмен салыстырғанда ұнтақтау жұқалығы бойынша 3,7 есе тиімді. Бұл ретте ұнтақтау уақыты шамалас болған жағдайда қарама-қарсы әсер ету 11,9 мкм ұнтақтау шегіне жетуге мүмкіндік береді, ал қозғалмайтын барабандағы ординарлы соққылы әсер кезінде бұл көрсеткіш 44,4 мкм құрайды. Сондай-ақ ұнтақтау процесін ұйымдастырудың жаңа тәсілі кезінде шамамен 40 мкм ұнтақтау

жұқалығына небәрі 5 минутта қол жеткізілетінін байқауға болады, яғни бұл ординарлы әсер етуге қарағанда 5 есе жылдам.

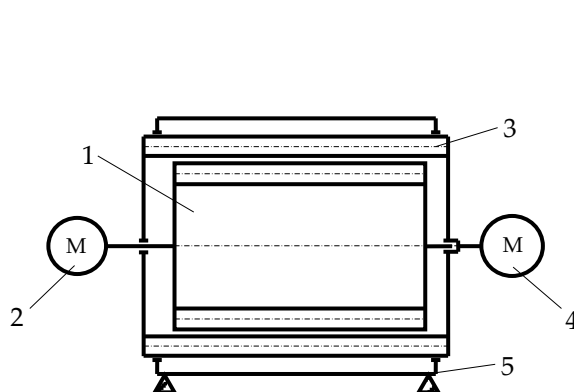
Соққылы әрекеттегі диірменде қарама-қарсы әсер ету арқылы ұнтақтау процесін ұйымдастырудың жаңа тәсілінің жоғары тиімділігі жаңа тәсілдерді қолдану, материалға өте қарқынды қарама-қарсы әсер етуді ұйымдастыру нәтижесінде қамтамасыз етіледі. Бұл алынған ұнтақтау процесінің теориялық моделіне сәйкес (3-формула) ұнтақтау тиімділігінің квадраттық өсуін қамтамасыз етеді, сондай-ақ ұнтақтау процесінің энергия кернеулігін екі жұмыс органынан бір мезгілде энергия берілуін ұйымдастыру арқылы арттырады.

Сондай-ақ алынған эмпирикалық-теориялық ұнтақтау моделінің барабарлығы және оны соққылы әсер арқылы жұқа ұнтақтау процестерінің нәтижелерін есептеу мен болжау кезінде практикада қолдану мүмкіндігі туралы айтуға болады.

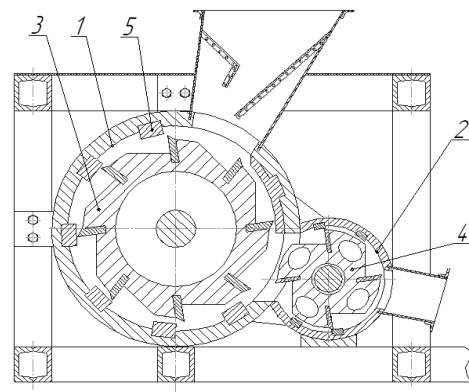
Ұнтақтау процесін ұйымдастырудың жаңа тәсілдері және материал бөлшектеріне қарама-қарсы әсер ету арқылы ұнтақтаудың тиімділігін дәлелдеген эксперименттік зерттеулер нәтижелері негізінде «ИННОТЕХ» ҒӨБ» ЖШС-де ұнтақтау процесінің энергия кернеулігі арттырылған қарама-қарсы соққылы әсер арқылы жұқа ұнтақтауға арналған құрылғылардың бірнеше жаңа конструктивтік сұлбалары әзірленді (7-сурет).

Соққылы әрекеттегі роторлы ұнтақтағыш бойлық тістері — соққыштары бар айналмалы ротордан 1 және оған қарама-қарсы бағытта айналатын, ішкі бетінде де бойлық тістері бар корпусдан 3 тұрады. Материал ротор мен корпус тістері — соққыштарымен жанасу кезінде көп мәрте жоғары жылдамдықты қарама-қарсы соққылы әсер ету есебінен ұнтақталады. Бұл процесс жоғары қарқындылықпен және жоғары энергия кернеулігімен сипатталады.

Екі роторлы аэробильді диірменде қатты бекітілген соққыштары бар екі қарама-қарсы айналатын ротор болады. Диірмендегі материал бөлшектері соққы және үйкеліс әсерінен бұзылады. Негізгі ұнтақтау ұнтақталатын материал бөлшектері бірінші ротордың соққыштарынан екінші ротордың соққыштарына өткен кезде, бөлшектердің соққыштармен екі еселенген жылдамдықтағы қарама-қарсы соқтығысуы нәтижесінде жүзеге асырылады. Диірмен жоғары энергия кернеулігімен және ұнтақтау жұқалығымен ерекшеленеді.



Соққылы әрекеттегі роторлы ұнтақтағыш:
1 – тістері-соққыштары бар ротор; 2 – ротор жетегі; 3 – тістері-соққыштары бар корпус;
4 – корпус жетегі; 5 – статор.



Екі роторлы аэробильді диірмен:
1 – жоғарғы корпус; 2 – төменгі корпус;
3, 4 – роторлар; 5 – шағылыстырғыш плиталар.

7-сурет. Қарама-қарсы соққылы әсер ету арқылы жұқа ұнтақтауға арналған құрылғылардың жаңа конструктивтік сұлбалары

Ескерту – авторлар құрастырған

Сондай-ақ патенттелген жұқа ұнтақтау тәсілі негізінде жұмысты ұйымдастырудың жаңа сұлбасы бар соққылы-құйынды ұнтақтағыш әзірленді. Ол бір агрегатта аэробильді және ағынды диірмендердің жұмыс істеу принциптерін біріктіруге негізделген. «ИННОТЕХ» ҒӨБ» ЖШС-де жүргізілген соққылы-құйынды ұнтақтағыштың эксперименттік зерттеулері оның жұмысқа қабілеттілігін, тиімділігін, практикалық қолдану мүмкіндігін және перспективалылығын дәлелдеді (Guryanov et al., 2025).

ҚОРЫТЫНДЫ

Материалдарды тиімді жұқа ұнтақтау үшін жоғары жылдамдықты соққы арқылы динамикалық ұнтақтауды қолдану орынды. Ұсынылған ұнтақтау процесінің механика-математикалық моделі негізінде анықталған соққы арқылы жұқа ұнтақтау процесін жетілдіру бағыты жұмыс органы мен материал бөлшегінің соқтығысу жылдамдығын және энергия кернеулігін арттырудан тұрады. Соққы арқылы ұнтақтау процесін ұйымдастырудың жаңа тәсілдері негізінде материалға жоғары жылдамдықты қарама-қарсы әсер етуді және екі жұмыс органынан бір мезгілде энергия берілуін ұйымдастыратын диірменнің жаңа конструктивтік сұлбасы ұсынылды.

Әзірленген және жасалған соққылы әрекеттегі диірмен моделінде типтік және жаңа жұмыс ұйымдастыру сұлбасы бойынша материалды ұнтақтау процесіне жүргізілген эксперименттік зерттеулер материал бөлшектеріне қарама-қарсы ұнтақтаушы әсер ету кезіндегі ұнтақтауды ұйымдастырудың жаңа сұлбасы типтік соққылы әсермен ұнтақтауға қарағанда едәуір тиімді екенін көрсетеді. Ұнтақтау нәтижелері алынған ұнтақтау процесінің механика-математикалық моделіне де сәйкес келеді.

Ұнтақтау процесінің теориялық моделіне эмпирикалық түзету енгізу алынған соңғы эмпирикалық-теориялық ұнтақтау моделін соққылы әсер арқылы жұқа ұнтақтау процестерінің нәтижелерін практикалық есептеу және болжау кезінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Материалға қарама-қарсы әсер ететін соққылы әрекеттегі жұқа ұнтақтауға арналған құрылғылардың жаңа конструктивтік сұлбалары ұсынылды.

Жұмыс нәтижелерінің ғылыми және практикалық жаңалығы соққы арқылы жұқа ұнтақтау процесінің тиімділігін арттыру тәсілдерінің бірі туралы жаңа мәліметтер береді, ал соққылы әрекеттегі ұнтақтағыштардың жұмысын ұйымдастырудың жаңа сұлбасының негізінде жатқан тәсілдердің оң іске асырылуы оларды одан әрі жетілдіру үшін кең мүмкіндіктер ашады. Жұмыста алынған нәтижелер материалдарды жұқа және аса жұқа ұнтақтау процестерін одан әрі зерттеу, сондай-ақ жұмыс істеу көрсеткіштері жақсартылған ұнтақтау жабдықтарының жаңа түрлерін әзірлеу үшін негіз болып табылады.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржыландыруымен жүзеге асырылуда (Грант № AP23488405 «Тиімділігі жоғары материалдарды ұнтақтауға арналған инновациялық жабдық әзірлеу»).

ИНСТИТУЦИОНАЛДЫҚ ЭТИКА КОМИТЕТІНІҢ ҚОРЫТЫНДЫСЫ: Қолданылмайды.

ЕРІКТІ КЕЛІСІМ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ: Қолданылмайды.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ: Осы техникалық зерттеудің нәтижелерін растайтын деректерді тиісті сұраныс бойынша жауапты автордан алуға болады.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар әдістемелік қолдау мен пайдалы пікірлері үшін әріптестеріне, сондай-ақ мақаланың сапасын арттыруға септігін тигізген анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Авторлар осы ғылыми мақаланы дайындау барысында мәтін жазу, редакциялау, фактілерді тексеру, деректерді талдау немесе басқа да кезеңдерде генеративті жасанды интеллект құралдарын және онымен байланысты технологияларды қолданбағанын мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Address, A., Shilo, D., Acharya, S., Li, F., Rabkin, E., Glass, B., Paskovitch, Y., Burkhardt, C., Voge, L., & Faran, E. (2026). Mechanical ball-milling as a powder pretreatment for additive manufacturing of Ni-Ti shape memory alloy. *Progress in Additive Manufacturing*, (4), 78–89.
- Aragón, H., Aragón, C., Miranda-Morales, B., & Sanabria-Sandí, F. R. (2023). Characterization and construction of a compact hammer mill for laboratory use to homogenize natural fibers of *Elaeis guineensis* and *Acrocomia* sp. *Ingeniería*, 33(2), 134–152. <https://doi.org/10.15517/ri.v33i2.54419>
- Azhgalieva, A.S., Borisenko, D.N., Kolesnikov, N.N., & Zhokhov, A.A. (2024). Impact mill. *Surface: X-ray, Synchrotron and Neutron Researches*, (5), 109–112.
- Baigereyev, S., Guryanov, G., Suleimenov, A., & Abdeyev, B. (2025). New approach to effective dry grinding of materials by controlling grinding media actions. *Applied Sciences*, 15, 7713. <https://doi.org/10.3390/app15147713>
- Borg, G., & Scharfe, F. (2015). Improved particle liberation by high-velocity comminution – The new VeRo Liberator. *Cuprum – Czasopismo Naukowo-Techniczne Gornictwa Rud*, 75, 5–14. <https://doi.org/10.3390/min10080710>
- Chimwani, N., & Bwalya, M. M. (2021). Milling studies in an impact crusher I: Kinetics modelling based on population balance modelling. *Minerals*, 11(5), 470. <https://doi.org/10.3390/min11050470>
- Dey, S., & Das, A. (2013). Comminution features in an impact hammer mill. *Powder Technology*, 235, 914–920. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.12.003>
- Gupta, V. K. (2025). Analysis of ball mill grinding kinetics for materials with uncommon breakage characteristics. *Advanced Powder Technology*, 36(6).
- Guoming, H., Liping, L., Hui, W., & Yu, L. (2010). An experimental study of fine powder comminution in a dual cone impact mill. *Advanced Materials Research*, 97–101, 1150–1153. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.1150>
- Guryanov, G. A., & Abdeev, B. M. (2020). The applied model of grinding a spherical solid particle with a direct impact on a non-deformable flat surface. *PNRPU Mechanics Bulletin*, (1), 32–42. <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2020.1.03>
- Guryanov, G. A., Abdeev, B. M., Baigereyev, S. R., Kim, V. A., & Suleimenov, A. D. (2021). The applied mechanical and mathematical model of grinding of a solid particle by static crushing. *PNRPU Mechanics Bulletin*, (3), 58–69. <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2021.3.06>
- Guryanov, G., Doudkin, M., Kim, A., Vavilov, A., & Vasilyeva, O. (2025). Improving the efficiency of fine grinding of materials in a new inverted impact grinder with enhanced energy-technological performance. *Advances in Mechanical Engineering*, 17(10), 1–16. <https://doi.org/10.1177/16878132251362308>
- Hergesell, A., Seitzinger, C., Burg, J., Baarslag, R., & Vollmer, I. (2025). Influence of ball milling parameters on the mechano-chemical conversion of polyolefins. *RSC Mechanochemistry*, 2, 263–272.

- Hongcheng, L., Shanchen, J., Rong, Z., Jie, G., & Zhiyou, N. (2024). Numerical simulation and analysis of the airflow field in the crushing chamber of the hammer mill. *ACS Omega*, 9, 32674–32686.
- Johanson, K. (2013). Selecting the proper mill for your product: Understanding breakage behavior is crucial in mills. *Chemical Engineering*, 120(11).
- Mhadhbi, M. (2023). Effect of milling parameters on DEM modeling of a planetary ball mill. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 13(4). <https://doi.org/10.4236/ampc.2023.134004>
- Mokgomola, T. (2021). Investigation of the mechanisms responsible for high speed impact crusher performance [MSc dissertation, University of the Witwatersrand].
- Nied, R. (2007). Rotor impact mills. In *Handbook of Powder Technology* (Vol. 12, pp. 229–249).
- Rhymer, D., Ingram, A., Sadler, K., & Windows-Yule, C. R. K. (2024). Segregation in binary and polydisperse stirred media mills and its role on grinding effectiveness. *Powder Technology*, 443.
- Salim, I., Muhpidah, M., Hardinashinta, G., Mubarak, H., Fauzi, R., & Surur, F. (2024). Performance test of disc mill type FFC-23 production of BBPP Batangkaluku. *BIO Web of Conferences*, 96, 03006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249603006>
- Sterling, D., Breitung-Faes, S., & Kwade, A. (2024). Improved energy transfer model for mechanistic scale-up of stirred media mills. *Powder Technology*, 444.
- Yuhao, Z., Guangchao, H., Qingpeng, G., Wenzhi, Z., & Wei, B. (2024). Experimental investigation longitudinal torsional ultrasonic vibration milling for cortical bone. *Journal of Manufacturing Processes*, 120, 529–541.

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Гурьянов Георгий Александрович – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Иннотех ғылыми-өндірістік бірлестігі» ЖШС, Өскемен қ., Қазақстан

Гурьянов Георгий Александрович – кандидат технических наук, профессор, ТОО «Научно-производственное объединение ИННОТЕХ», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Guryanov Georgiy Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Professor, LLP “Scientific and Production Association INNOTECH”, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: gguryanov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3657-3735>



Байгереев Самат Ракимгалиевич – философия докторы (PhD), қауымдастырылған профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Байгереев Самат Ракимгалиевич – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Baigereyev Samat Rakimgaliyevich – doctor of Philosophy (PhD), associate professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: samat.baigereyev@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7773-5457>



Ликунов Александр Викторович – инженер, «Иннотех ғылыми-өндірістік бірлестігі» ЖШС, Өскемен қ., Қазақстан

Ликунов Александр Викторович – инженер, ТОО «Научно-производственное объединение ИННОТЕХ», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Likunov Aleksander Viktorovich – Engineer, LLP «Scientific and Production Association INNOTECH», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: likunov65@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5387-3284>



Дудкин Михаил Васильевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, «Иннотех ғылыми-өндірістік бірлестігі» ЖШС, Өскемен, Қазақстан

Дудкин Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор, ТОО «Научно-производственное объединение ИННОТЕХ», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Dudkin Mikhail Vasilyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, LLP “Scientific and Production Association INNOTECH”, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: vas_dud@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5732-0724>



Васильева Ольга Юрьевна – аға оқытушы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Васильева Ольга Юрьевна – старший преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Vasilyeva Olga Yurievna – Senior Lecturer, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: ovasilyeva@ektu.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9426-6322>