

маятника з параметричним збудженням для реалізації різноспрямованих віброударних імпульсів. Досліджено нормальне, радіальне і трансверсальне прискорення для центру мас нелінійного маятника. Визначено залежності прискорень від вхідної частоти коливань віброзбуджувача, амплітуди вихідних кругових коливань, кількості граней застосовуваних багатокутників і зазору між ними.

Ключові слова: віброударні імпульси, нормальне прискорення, радіальне прискорення, трансверсальне прискорення, повне прискорення, нелінійний маятник.

UDC 622.74.913.1

The analysis of dependence of executive tools' vibroaccelerations from multidirectional mechanical pulse sequence / V. P. NADUTYY, V. F. IAGNIUKOV, I. V. IAGNIUKOVA // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 60 – 71. – Bibliogr.: 11 names. – ISSN 2079-0821.

The research on the application of vibroimpact pulses have been widely studied in recent years because of the fact that such pulses are able to improve the screening performance. There is a new mechanical model of the nonlinear pendulum with parametric excitation is proposed in this paper for the implementation of directed vibroimpact pulses in the plane or space on the screening surface of the screen. The main objective of the study is to describe and analyze the trajectory of the center of mass of the pendulum. Normal, radial and transversal accelerations of the mass center of the nonlinear pendulum are studied; in particular the parameters often used in practice are applied in calculations. The dependencies of the acceleration on the input frequency oscillation exciter, the initial amplitude of circular oscillations, number of polygons' faces used in and the gap between them are defined.

Keywords: vibro-impact pulses, normal acceleration, radial acceleration, transversal acceleration, full acceleration, nonlinear pendulum.

УДК 621.926.5:539.215

Ю.В. НАУМЕНКО, д-р техн. наук, доц., НУВГП, Рівне

КОНЦЕПЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ТОНКОГО ПОДРІБНЕННЯ В БАРАБАННИХ МЛИНАХ

Розглянуто механізм взаємодії робочих органів барабанних млинів із частинками подрібнюваного матеріалу. Виявлено резерви підвищення ефективності роботи млинів за рахунок організації раціональних режимів руху завантаження при реалізації принципу енергетичної селективності подрібнення. Створено нові робочі процеси багатостадійного подрібнення в барабанних млинах.

Ключові слова: барабанні млини, режими роботи, внутрішньокамерне завантаження, енергетична селективність подрібнення, багатостадійність помелу.

Найрозповсюдженішим методом диспергування є механічне подрібнення. Більша частина витрат енергії припадає на тонке подрібнення.

© Ю.В. Науменко, 2014

Основна проблема технології дезінтеграції полягає у парадоксальній залежності між витратами енергії та дисперсністю матеріалу. Ця проблема породжує протиріччя між відносною досконалістю сучасних технологій і обладнання для подрібнення та надзвичайно низькою енергетичною ефективністю процесів, коефіцієнт корисної дії яких оцінюється у 0,1 – 0,001 % [1]. Емпіричні співвідношення стали класичними та широко використовуються у виробничій практиці [2]. Однак жодна з відомих теорій і жоден з емпіричних законів подрібнення не є коректними в області тонкого диспергування [3].

Вираз емпіричної залежності, що характеризує енергетичні витрати на зниження розмірів частинок, у має вигляд [2]:

$$dE = -K(dl/l^n); \quad (1)$$

де E – питома енергія, яка надається одиниці об'єму тіла, що руйнується, яка є необхідною для приросту енергії поверхні, що заново утворюється; K – коефіцієнт пропорційності; l – середній розмір частинки; n – коефіцієнт, що залежить від діапазону розмірів частинки та способу подрібнення.

Графічна інтерпретація (рис. 1) виразу (1) засвідчує, що закон Кіка-Кирпичова є придатним для процесів дроблення або грубого подрібнення, закон Ріттингера – для середнього, закон Бонда – для проміжного випадку і жоден з цих законів не є придатним для процесів тонкого подрібнення.

Як наслідок процес тонкого здрібнення в технологічному аспекті залишається незрозумілим, його закономірності лише наближено сформульованими, а теорія робочих процесів обладнання не розробленою [4].

Головним недоліком барабанних млинів є висока питома витрата енергії. Це спричинює на перший погляд парадоксальну ситуацію, коли реальна міцність більшості твердих матеріалів є на два-три порядки меншою за теоретичну, а реальна енергоємність руйнування матеріалів є на три і більше порядків більшою за теоретичну енергоємність нової поверхні.

Традиційні тенденції розвитку барабанних млинів вичерпали свої можливості. Новим технологічним напрямком підвищення ефективності дезінтеграції є енергетична селективність подрібнення [4], яка передбачає вибіркове підведення енергії до матеріалу з метою мінімізації енерговитрат руйнування. За принципом селективності значення та розподіл навантажень в об'ємі частинки подрібнюваного матеріалу повинні оптимально поєднуватись зі швидкістю деформування та тривалістю навантаження для мінімізації витрат

енергії. Грубе подрібнення крупних частинок доцільно здійснювати ударною дією при створенні великих імпульсів, які сприяють виникненню у матеріалі граничного пружного деформування. Натомість тонке подрібнення малих частинок – стиранням та роздавлюванням при створенні малих імпульсів, які сприяють виникненню пластичного деформування.

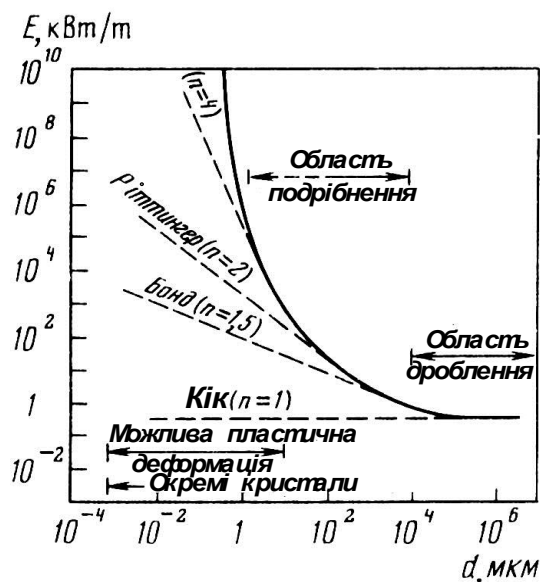


Рис. 1 – Залежності питомої витрати енергії E від розмірів частинок, що подрібнюються.

Згідно існуючої теорії барабаних млинів режим руху завантаження є двофазним «водоспадним», а подрібнення здійснюється лише ударною дією.

Насправді режим руху завантаження є трифазним із утворенням зони зсувного шару, де і здійснюється основний процес подрібнення стиранням.

Зважаючи на недетермінованість чинників робочого процесу барабаних млинів описати його можна лише за допомогою узагальнених параметрів, за які можуть бути прийняті безрозмірні динамічні характеристики подрібнення, що вважатимуться критеріями ефективності процесу помелу.

Швидка гравітаційна течія у зсувній зоні завантаження відноситься до класу швидких зсувних течій, що супроводжується інтенсивною взаємодією елементів. Такі течії описуються кінетичною теорією густих газів. Урахування непружності елементів у міжелементних зштовхуваннях дозволяє включити у рівняння балансу їх енергії параметр «температури» T зернистого середовища [5]. Вона характеризує кінетичну енергію, що відповідає випадковому хаотичному руху елементів.

Вираз для T у безрозмірній формі в перерізі зсувного шару має вигляд:

$$T = [(V_{z_{max}} + |V_{z0}|)/h]^2 R/g$$

де $V_{z_{max}}$ – максимальна зсувна швидкість на вільній поверхні, V_{z0} – швидкість руху опорної поверхні, h – товщина шару, R – радіус камери, g – гравітаційне прискорення.

Показник температури зернистого середовища має комплексний характер і визначає ступінь активності взаємних переміщень елементів та інтенсивність протікання в середовищі технологічних процесів. На основі моделювання напружено-деформованого стану завантаження [6] було визначено його рух для млинів із різним відносним розміром елементів d у камері діаметром D та різними ступенями її заповнення κ . Встановлено залежності температури T від відносної швидкості ψ_ω при $\kappa = 0,25 - 0,45$ для чотирьох випадків роботи млинів (рис. 2). Вони ілюструють зареєстрований ефект виникнення подвійного максимуму значень T для різних ψ_ω . Порівняльний аналіз засвідчує посилення прояву ефекту зі зниженням відносного розміру елементів та виступів на поверхні камери для останнього випадку $d/D = 0,0024$ та гладкої камери, що відповідає роботі третьої камери трубних млинів із мініпесним завантаженням. Стираюча дія завантаження оцінювалась за комплексними характеристиками. Повна енергія хаотичного руху в поперечному напрямку зсувного шару, що визначає стираючу дію, характеризується добутком температури середовища, як питомої енергії, на масову частку шару – $T \cdot K_{за}$, а продуктивність – добутком цих множників на оборотність завантаження – $T \cdot K_{за} \cdot K_o$, де $K_{за} = m_3/m$ – ступінь зсувної активації, що характеризує питому частку зони зсувного шару у масі всього завантаження, m_3 – маса зсувної зони, m – маса всього завантаження, $K_o = 2\pi/(t_{ц} \omega)$ – оборотність завантаження, $t_{ц}$ – тривалість циклу руху завантаження, ω – кутова швидкість барабана. Наведені графічні залежності комплексних параметрів $T \cdot K_{за}$ (рис. 3а) та $T \cdot K_{за} \cdot K_o$ (рис. 3б), від ψ_ω для четвертого випадку роботи барабанних млинів характеризуються, порівняно з $T(\psi_\omega)$ (рис. 2г), поступовим переходом тихохідних максимумів значень параметрів з локальних у абсолютні. Виникнення тихохідного максимуму характеристик спричинено ефектом аномального зниження псевдов'язкості завантаження [6]. Було встановлено раціональні параметри процесів багато стадійного подрібнення в барабанних млинах [6]: для першого етапу грубого подрібнення переважно ударною дією, при підвище-

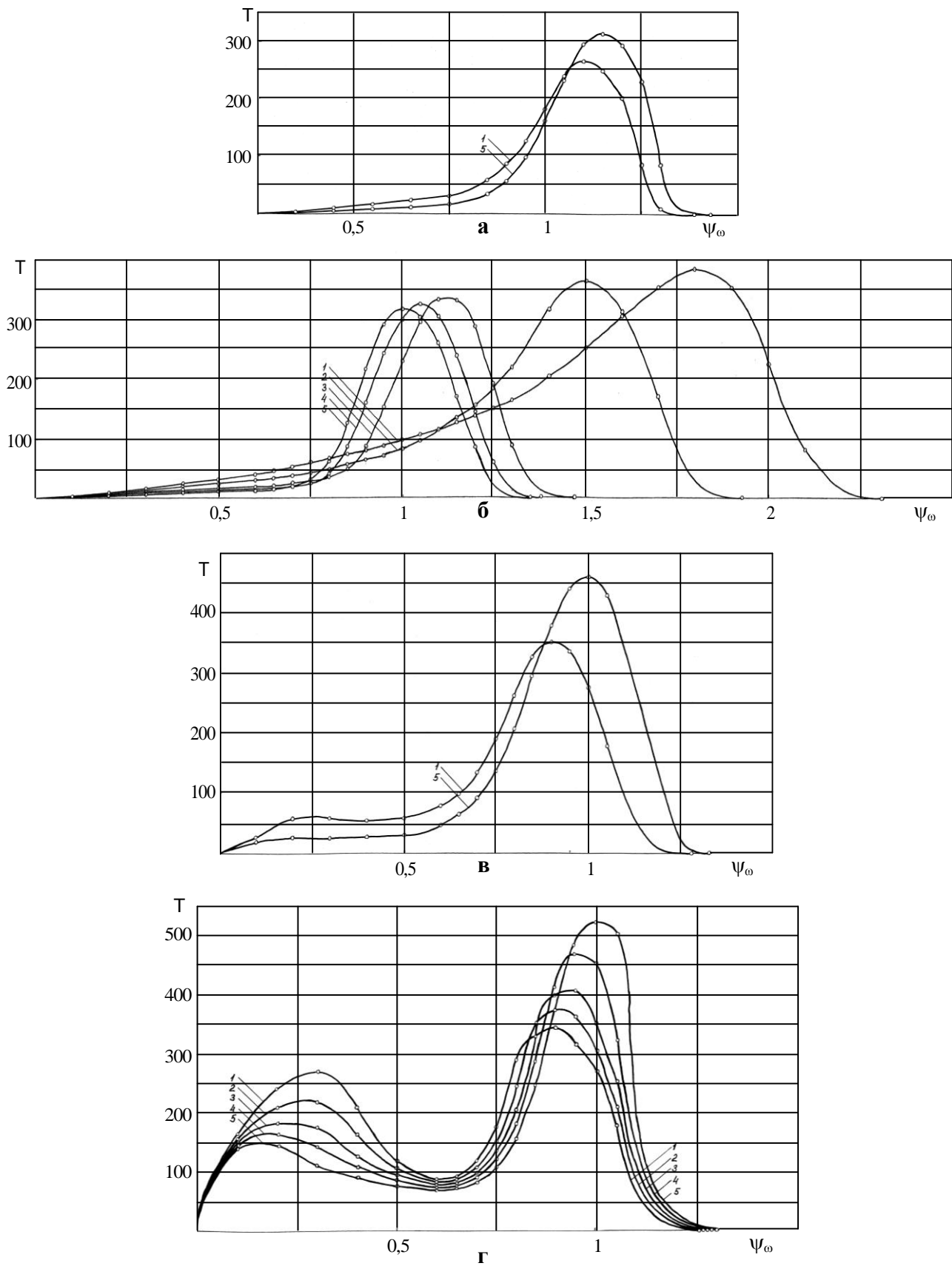


Рис. 2 – Залежності T від ψ_ω при: а – $d/D=0,022$ та хвильові камері,

б – $d/D = 0,026$ та гладкій камері, в – $d/D = 0,01$ та гладкій камері, г – $d/D = 0,0024$ та гладкій камері: 1 – $\kappa = 0,25$; 2 – $\kappa = 0,3$; 3 – $\kappa = 0,35$; 4 – $\kappa = 0,4$; 5 – $\kappa = 0,45$.

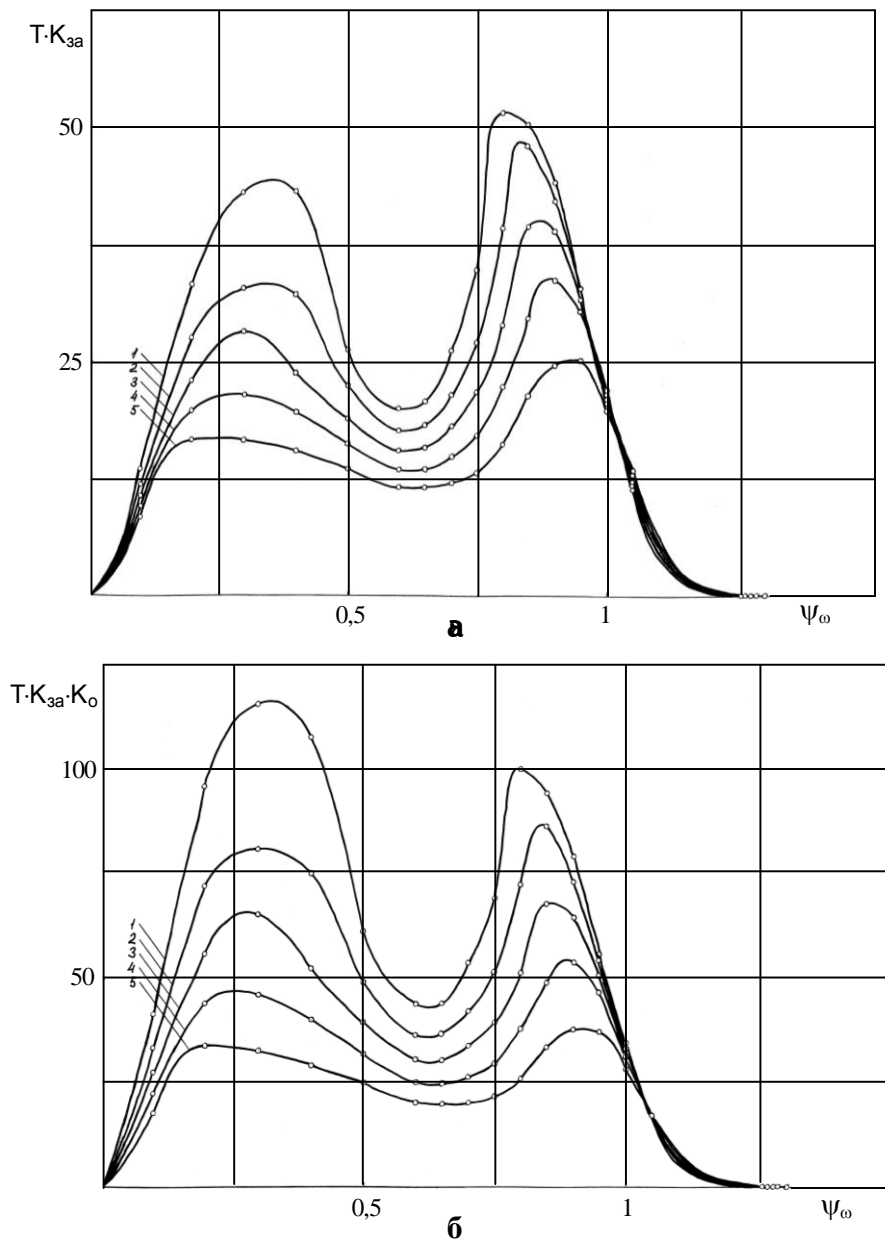


Рис. 3 – Залежності: а – $T \cdot K_{за}$, б – $T \cdot K_{за} \cdot K_о$ (б) від $\psi_ω$ при $d/D = 0,0024$ та гладкій камері (1 – $\kappa = 0,25$; 2 – $\kappa = 0,3$; 3 – $\kappa = 0,35$; 4 – $\kappa = 0,4$; 5 – $\kappa = 0,45$).

них значеннях швидкості обертання, ступені заповнення камери та розмірі молольних тіл – $\psi_ω = 0,85 - 1,05$, $\kappa = 0,45$, $d/D = 0,015 - 0,04$, а для останнього етапу тонкого подрібнення стиранням, при знижених зазначеннях цих параметрів – $\psi_ω = 0,25 - 0,45$, $\kappa = 0,25$, $d/D = 0,002 - 0,01$.

Висновок:

Застосування моделі трифазного режиму руху завантаження дозволяє

уточнити характер реалізації способів диспергування та встановити раціональні параметри процесу багатадійного тонкого подрібнення в млинах барабанного типу на основі концепції енергетичної селективності дезінтеграції.

Список літератури: 1. *Гийо Р.* Проблема измельчения материалов и ее развитие / *Р. Гийо.* – М.: Стройиздат, 1964. – 112 с. 2. *Перов В.А.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / *В.А. Перов, Е.Е. Андреев, Л.Ф. Биленко.* – М.: Недра, 1990. – 301 с. 3. *Ходаков Г.С.* Физико-химическая механика технологических процессов: [Электронный ресурс] / *Г.С. Хордаков.* – Режим доступа: <http://www.chem.msn.ru/rus/history/Rechbinder/20.html#author/>. 4. *Ревнивцев В.И.* Селективное разрушение минералов / [*В.И. Ревнивцев, Г.В. Гапонюк, Л. П. Завгородний* и др.]; под ред. *В.И. Ревнивецова.* – М.: Недра, 1988. – 286 с. 5. *Борщев В.Я.* «Температура» зернистой среды и физические эффекты взаимодействия частиц при быстром сдвиговом течении зернистых материалов / *В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин* // Изв. вузов.– 2007. – Т. 50, Вып. 8. – (Серия: Химия и хим. технология). – С. 78 – 82. 6. *Науменко Ю.В.* Основи теорії робочих процесів барабанних млинів: монографія / *Ю.В. Науменко.* – Рівне: НУВГП, 2014. – 336 с.

Referens: 1. *Gijo R.* Problema izmel'chenija materialov i ee razvitie / *R. Gijo.* – Moscow: Strojizdat, 1964. – 112 s. 2. *Perov V.A.* Droblenie, izmel'chenie i grohochenie poleznyh iskopaemyh / *V.A. Perov, E.E. Andreev, L.F. Bilenko.* – Moscow: Nedra, 1990. – 301 s. 3. *Hodakov G.S.* Fiziko-himicheskaja mehanika tehnologicheskikh processov: [Jelektronnyj resurs] / *G.S. Hordakov.* – Rezhim dostupa: <http://www.chem.msn.ru/rus/history/Rechbinder/20.html#author/>. 4. *Revnivcev V.I.* Selektivnoe razrushenie mineralov / [*V.I. Revnivcev, G.V. Gaponjuk, L. P. Zavgorodnij i dr.*]; pod red. *V.I. Revnivceva.* – Moscow: Nedra, 1988. – 286 s. 5. *Borshhev V.Ja.* «Temperatura» zernistoj sredy i fizicheskie jeffekty vzaimodejstvija chastic pri bystrom sdvigovom techenii zernistyh materialov / *V.Ja. Borshhev, V.N. Dolgunin* // Izv. vuzov. – 2007. – T. 50, Vyp. 8. – (Seriya: Himija i him. tehnologiya). – S. 78 – 82. 6. *Naumenko Yu.V.* Osnovy teorii robochyx protsesiv barabannykh mlyniv: monohrafiya / *Yu.V. Naumenko.* – Rivne: NUVHP, 2014. – 336 s.

Надійшло до редколегії (Received by the editorial board) 28.07.2014

УДК 621.926.5:539.215

Концепція раціональної організації процесів тонкого подрібнення в барабанних млинах / Ю.В. НАУМЕНКО // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 54 (1094). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 71 – 78. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0821.

Рассмотрен механизм взаимодействия рабочих органов барабанных мельниц с частицами измельчаемого материала. Выявлены резервы повышения эффективности работы мельниц за счет организации рациональных режимов движения загрузки при реализации принципа энергетической селективности измельчения. Созданы новые рабочие процессы многостадийного измельчения в барабанных мельницах.

Ключевые слова: барабанные мельницы, режимы работы, внутрикамерная загрузки, энергетическая селективность измельчения, многостадийность помола.

UDC 621.926.5:539.215

The concept of the tumbling mills fine grinding processes rational organization /

Yu.V. NAUMENKO // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 71 – 78. – Bibliogr.: 6 names. – ISSN 2079-0821.

The mechanism of tumbling mills working bodies interaction with grinding material particles is considered. The tumbling mills efficiency increasing reserves due to the rational filling flow organization in the grinding energy selectivity principle implementation is identified. The new tumbling mills multistage grinding operating conditions is created.

Keywords: tumbling mills, operating conditions, intrachamber filling, grinding energy selectivity, multistage grinding.

УДК 543.1/532.135

Н.Д. ОРЛОВА, канд. техн. наук, доц., ОНМА, Одесса

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И СМЕШЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СМЕСЕЙ

Рассмотрены различные подходы к изучению процессов измельчения и смешения в вибрационных мельницах. Весь процесс формализован как сложная физико-механическая система. Качественный анализ процесса измельчения и сопутствующего смешения был проведен с единых позиций всего спектра явлений, начиная с атомарно-молекулярного уровня и кончая промышленными процессами.

Ключевые слова: вибрационное измельчение, смешение, оптимальные параметры.

Впервые системный подход к изучению процессов измельчения и смешения был описан в [1, 3], а весь процесс формализован как сложная физико-механическая система. Качественный анализ процесса измельчения и сопутствующего смешения был проведен с единых позиций всего спектра явлений, начиная с атомарно-молекулярного уровня и кончая промышленными процессами. В последующих работах строились математические модели процесса измельчения для конкретного типа измельчающих и смесительных устройств. Процесс измельчения и одновременного смешения осуществляется на различных типах измельчающих аппаратах, в основе которых заложены различные способы разрушения материалов, и, как правило, составление физических и математических моделей проводится с учетом типа измельчающего устройства и способа измельчения и смешения материала.