

ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

«Химия, химическая технология и экология»

65'2010

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ»
в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета
По информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.
Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.
Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.
Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.
А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.
М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.
А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.
В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.
И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.
В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.
Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.
П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.
С.И. Кондрашев, д-р техн. наук, проф.
В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.
В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.
Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.
В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.
О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.
В.И. Николаенко, канд. ист. наук, проф.
В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.
Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.
Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

Г.Н. Шабанова, д-р техн. наук, проф.

В.Л. Авраменко, канд. техн. наук, проф.
Б.И. Байрачный, д-р техн. наук, проф.
Л.Л. Брагина, д-р техн. наук, проф.
Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.
Г.И. Гринь, д-р техн. наук, проф.
И.Н. Демидов, д-р техн. наук, проф.
А.М. Каратеев, д-р хим. наук, проф.
Н.Ф. Клещев, д-р техн. наук, проф.
А.Я. Лобойко, д-р техн. наук, проф.
А.П. Мельник, д-р техн. наук, проф.
А.С. Савенков, д-р техн. наук, проф.
Г.Д. Семченко, д-р техн. наук, проф.
С.А. Слободской, д-р техн. наук, проф.
Р.Д. Сытник, д-р техн. наук, проф.
Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.
В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.
В.П. Шапорев, д-р техн. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПИ»

Кафедра керамики

Тел. (057) 707-60-51

e-mail: szelentcov@kpi.kharkov.ua

Харьков 2010

УДК 621.833

Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск “Хімія, хімічна технологія та екологія”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2010. – № 65. – 148 с.

У збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов.

**Друкується за рішенням Вченої ради НТУ “ХПІ”,
протокол № 9 від 13.11.2010 р.**

ISSN 2079-0821

© Національний технічний університет «ХПІ», 2010

М.І. СОКУР, докт. техн. наук, проф.; *Л.М. СОКУР*, ст. викладач;
І.М. СОКУР, науковець, Кременчуцький державний університет
ім. М. Остроградського, м. Кременчук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РУЙНУВАННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ В ПОЛІ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ

Запропонована гіпотеза, згідно з якою процес руйнування твердого матеріалу з достатньою вірогідністю описується рядом визначеної геометричної прогресії. Розроблена математична модель процесу дезінтеграції твердих мінеральних ресурсів вільним ударом в полі відцентрових сил, яка відображає закономірності і фізичну сутність процесів в робочій камері дезінтегратора і описує якісну картину руйнування матеріалу у дезінтеграторі відцентрового типу.

Offered hypothesis in obedience to which the process of destruction of hard material is described in certain geometrical progression. The mathematical model of disintegration process of hard mineral resources a free-kick is developed in the field of centrifugal forces, which represents conformities to law and physical essence of processes in the working chamber of disintegrator and describes the process of destruction of material in the disintegrators of centrifugal type.

Вступ. Дезінтеграція (дроблення і подрібнення) твердих мінеральних ресурсів є надзвичайно трудоемним і енергоємним процесом, на долю якого припадає 65 – 70 % енергетичних, капітальних і експлуатаційних витрат. При цьому по дослідженнях авторів, витрати на дроблення складають лише 5 %, а на подрібнення 60 – 65 %, тобто витрати на подрібнення на порядок вищі, чим на дроблення.

Тому пропонується концепція перерозподілу енерго і трудозатрат між циклами дроблення і подрібнення в напрямку збільшення питомої ваги циклу дроблення в загальному процесі дезінтеграції мінеральних ресурсів. Перспективною науковою стратегією в цьому напрямку, науково обґрунтованою авторами, є зниження крупності дробимого продукту з 25 – 30 мм до 5 – 10 мм, так як кожний міліметр зменшення крупності продуктів дроблення дозволяє на 1 – 1,5 % знизити енергоємність і на стільки ж підвищити продуктивність циклів подрібнення [1 – 5].

Таку крупність дробимого продукту можна отримати в апаратах нового покоління, найбільш перспективним з яких є дезінтегратори відцентрового типу, в яких реалізується принцип руйнування твердих мінеральних ресурсів вільним ударом в полі відцентрових сил [5].

Для широкого впровадження цієї інноваційної розробки необхідно створити теоретичну базу, яка дозволить науково обґрунтовано розробляти нові конструкції відцентрових дезінтеграторів, які задовольняють вимогам запропонованої стратегії в галузі переробки твердих мінеральних ресурсів.

Мета роботи. Основною метою досліджень було розробка математичних моделей і теоретичних основ процесу дезінтеграції твердих мінеральних ресурсів, які відображають фізичну сутність процесів в робочій камері дезінтегратора.

Матеріали і результати досліджень. У більшості традиційних апаратів при дезінтеграції (дробленні і подрібненні) мінеральної сировини руйнування матеріалу відбувається в результаті його роздавлювання або тертя. Перспективним способом дезінтеграції твердого матеріалу представляється його руйнування вільним ударом у полі відцентрованих сил, що дозволяє зменшити питомі витрати електроенергії та забезпечує селективне розкриття корисного компонента.

Спосіб руйнування матеріалу ударом в полі відцентрових сил реалізується в апаратах відцентрового типу - відцентрових дезінтеграторах. Створення таких апаратів вимагає нових теоретичних підходів до процесу руйнування матеріалу (рисунок).

Пропонується гіпотеза, згідно з якою процес дроблення куска матеріалу об'ємом V можна представити рядом визначеної геометричної прогресії. Наприклад, у результаті експериментів дослідним шляхом встановлено, що кусок матеріалу об'ємом V , отримавши певне прискорення на робочому органі відцентрового дезінтегратора, летить в полі відцентрових сил і при ударі об жорстку перешкоду (відбійні плити дезінтегратора) руйнується на n шматків. При цьому отримано один кусок об'ємом $\frac{1}{2} V$, другий кусок об'ємом $\frac{1}{4} V$, третій об'ємом $\frac{1}{8} V$ і т.д.

Таким чином, у даному випадку знаменник ряду дорівнює $2, 4, 8, 16 \dots 2^k$ а сам ряд, а отже, і схема руйнування вихідного куска об'ємом V може бути описана геометричною прогресією види:

$$V = \frac{V}{2} + \frac{V}{4} + \frac{V}{8} + \frac{V}{16} + \dots + \frac{2V}{2^k} \quad (1)$$

У цьому ряді останній член має коефіцієнт 2^k , так як, передбачається, що

найменша частка подрібненого матеріалу не може бути менше двох об'ємів молекул, тому, що механічним шляхом зруйнувати речовину до молекулярного рівня неможливо.

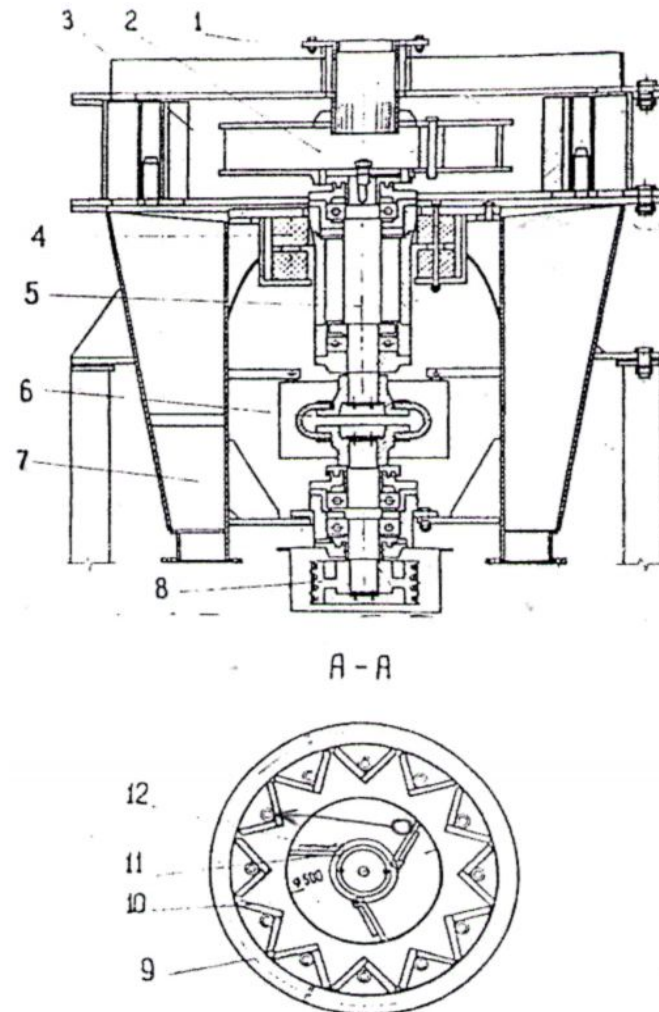


Рисунок – Особливості конструкції і принцип роботи дезінтегратора відцентрового типу:

- 1 – завантажувальний пристрій, 2 – розгінний ротор, 3 – відбійні плити,
- 4 – підвіска, 5 – вал ротора, 6 – муфта, 7 – розвантажувальна тічка,
- 8 – шків приводу ротора, 9 – обичайка, 10 – відбійні плити вугільної форми,
- 11 – розгінні ребра, 12 – зносостійка пластина

За інших умов експерименту (обсяг куска, міцність, швидкість) матеріал може руйнуватися за наступною схемою:

$$V = \frac{2}{3}V + \frac{2}{9}V + \frac{2}{27}V + \dots + \frac{2}{3^{K-1}}V + \frac{2V}{3^K} \quad (2)$$

Для різних умов можливі й інші схеми руйнування матеріалу, але всі во-

ни в загальному випадку описуються геометричною прогресією виду:

$$V = \frac{n-1}{n}V + \frac{n-1}{n^2}V + \frac{n-1}{n^3}V + \dots + \frac{n-1}{n^{k-1}}V + \frac{n}{n^k}V \quad (3)$$

Показник ступеня в цих рівняннях визначається з формул:

$$\frac{V}{n^K} \geq V_{МОЛ}; V_{МОЛ} = \frac{M}{\rho \cdot N_A}; \ell_q V - k \ell_q n \geq \ell_q V_{МОЛ}; k \leq \frac{\ell_q V - \ell_q V_{МОЛ}}{\ell_q n}; \quad (4)$$

де $V_{МОЛ}$ – об'єм молекули, V – об'єм куска матеріалу, M – маса граммолекули речовини, ρ – дійсна щільність; N_A – число Авогадро для грам-молекули речовини ($N_A = 6,02 \cdot 10^{-23}$)

У тому випадку, коли кусок вихідного матеріалу має об'єм 1 м^3 , наведені вище ряди будуть мати вигляд:

$$1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^{k-1}} + \frac{2}{2^k} \quad (5)$$

$$1 = \frac{2}{3} + \frac{2}{9} + \frac{2}{27} + \dots + \frac{2}{3^{k-1}} + \frac{2}{3^k} \quad (6)$$

$$1 = \frac{n-1}{n} + \frac{n-1}{n^2} + \frac{n-1}{n^3} + \dots + \frac{n-1}{n^{k-1}} + \frac{n}{n^k} \quad (7)$$

Таким чином, ґрунтуючись на запропонованому підході та уявленні дроблення куска вихідного матеріалу рядом геометричної прогресії зазначеного вище виду, ми можемо прогнозувати кількість і розміри всього спектру отриманих з початкового куска осколків. Далі розглянемо механізм руйнування куска матеріалу, що летить в полі відцентрових сил, при ударі його об жорстку перешкоду. Приймаються вихідні умови: поперечний розмір куска менше товщини твердої перешкоди (броні), тобто $\delta_{\delta\rho} \geq \delta_{\kappa}$; час проходження звуку через броню більше, ніж через кусок матеріалу $t_{3,в.бр.} \geq t_{3,в.к.}$; межа пружності на стиск куска / G / менше відношення сили що діє на нього, до площі кус-

ка $\frac{F_k}{S_k}$; кусок матеріалу має овальну форму, близьку до форми кулі діаметром d (або радіусом r). Кусок матеріалу розганяється до швидкості V робочим органом відцентрового дезінтегратора - розгінним ротором і рухається в полі відцентрових сил до зустрічі з жорсткою перепорою - відбійними плитами (футеровкою) дезінтегратора. Удар прямий, центральний, тобто під кутом 90° , перпендикулярно плиті. Тоді найбільша площа поперечного перерізу куска матеріалу:

$$S = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Згідно з другим законом Ньютона, сила, з якою вдаряється кусок об плиту дорівнює:

$$F = m \cdot a$$

де m – маса куска руди, кг; a – прискорення куска, що отримується при зупинці (погашення швидкості до нуля); F – сила, що діє на кусок, кг. Маса матеріалу дорівнює:

$$m = \rho \cdot V_0 = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = \rho \frac{\pi d^3}{6}$$

де ρ – щільність матеріалу, кг/м³, V_0 – об'єм куска матеріалу, м³.

Тоді сила, що діє при ударі, дорівнює:

$$F = \frac{\rho \cdot \pi \cdot d^3}{6} \cdot a \quad (8)$$

За час удару прискорення складе

$$a = \frac{v}{t} \quad (9)$$

де v – швидкість при ударі; t – час дії сили.

Виходячи з припущення про те, що час дії сили відповідає часу розпо-

всюдження пружних хвиль у куску матеріалу при вільному ударі, запишемо

$$t = \frac{d}{u} \quad (10)$$

де u – швидкість поширення пружних хвиль у матеріалі (швидкість звуку).

З урахуванням формул 9 і 10 визначимо силу, що діє при вільному ударі:

$$F = \frac{\rho \cdot \pi \cdot d^3 \cdot v \cdot u}{6d} \quad (11)$$

Умова міцності куска матеріалу має вигляд:

$$\frac{F}{S} \langle [G] \quad (12)$$

де $[G]$ – допустима напруга руйнування даного матеріалу; S – площа поперечного перерізу куска матеріалу,

$$S = \frac{\pi d^3}{4} \quad (13)$$

З урахуванням виразів (11) і (13) умова міцності куска буде мати вигляд:

$$\frac{\frac{\rho \cdot \pi \cdot d^3 \cdot v \cdot u}{6d}}{\frac{\pi d^2}{4}} \langle [G] \quad (15)$$

Після простих перетворень одержимо:

$$\frac{2}{3} \rho \cdot v \cdot u \langle [G] \quad (16)$$

Тоді умова міцності отримуємо у вигляді

$$v \langle \frac{3}{2} \cdot \frac{[G]}{\rho \cdot u} \quad (17)$$

Звідси, очевидно, умова руйнування матеріалу при вільному прямому ударі в полі відцентрових сил

$$v \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{[G]}{\rho \cdot u} \quad (18)$$

При визначенні руйнівної швидкості при непрямому ударі необхідно враховувати величину кута зустрічі куска матеріалу з жорсткою перешкодою (відбійними плитами відцентрового дезінтегратора)

$$v \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{[G]}{\rho \cdot u \cdot \sin \lambda} \quad (19)$$

Чим менше $\sin \lambda$, а значить і кут зустрічі, тим більше повинна бути гранична швидкість вильоту частинки. Наприклад для $\lambda = 30^\circ$ вона зростає в два рази в порівнянні з граничною швидкістю при куті зустрічі $\lambda = 90^\circ$. Можна припустити, що розрахована за формулою (19) $v_{гран}$ – гранична мінімальна швидкість, при якій кусок матеріалу починає руйнуватися – забезпечує його мінімальне руйнування і призводить до зменшення його поперечного розміру в 2 рази, (тобто ступінь скорочення куска дорівнює 2). При необхідності зменшення крупності вихідного матеріалу в 3 рази швидкість повина бути збільшена в 1,5 рази, для зменшення крупності в 4 рази, швидкість вильоту має бути збільшена 2 рази і т.д. Таким чином, для забезпечення необхідного ступеня скорочення матеріалу n , в отримані формули необхідно ввести коефіцієнти, рівний $n/2$. Тоді необхідну швидкість вильоту матеріалу з робочого барабана відцентрового дезінтегратора для забезпечення необхідного ступеня скорочення можна розрахувати за такою формулою:

$$v = \frac{2}{3} \cdot \frac{[G]}{\rho u 4} \cdot \frac{n}{2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{G \cdot n}{\rho \cdot u} \quad (20)$$

(для дезінтегратора, що забезпечує своєю конструкцією максимальний кут зустрічі $\lambda = 90^\circ$ роздрібнюваного матеріалу з відбійними плитами).

$$v = \frac{3}{4} \cdot \frac{[G] \cdot n}{\rho \cdot u \cdot \sin \lambda} \quad (21)$$

(при куті λ зустрічі матеріалу з відбійними плитами).

Величина ρu , що стоїть в знаменнику виведених формул, являє собою акустичну жорсткість матеріалу. Таким чином, виходячи з наведених аналітичних залежностей, акустична жорсткість є одним з критеріїв інтенсивності при руйнуванні матеріалу вільним ударом. Введемо для неї загальноприйняте позначення:

$$A = \rho \cdot u$$

і отримаємо остаточну формулу для визначення швидкості вильоту матеріалу з розгінного ротора дезінтегратора, що забезпечує необхідне руйнування матеріалу.

$$v = \frac{3}{4} \cdot \frac{[G] \cdot n}{A \cdot \sin \lambda}$$

Висновки.

Таким чином, встановлена закономірність процесу руйнування твердих кускових мінеральних ресурсів вільним ударом в полі відцентрових сил, яка відображає фізичну сутність процесів в робочій камері дезінтегратора і рекомендується використовувати як для опису якісної картини руйнування матеріалу у відцентровому дезінтеграторі, так і для розрахунку швидкісних режимів роботи при проектуванні відцентрових дезінтеграторів.

Список літератури: 1. Сокур Н.И. Экономия энергоресурсов при дезинтеграции минерального сырья / Н.И. Сокур // Пути экономии ресурсов при обогащении руд. – 1999. – С. 3 – 8. 2. Сокур Н.И. Центробежные дезинтеграторы для мелкого дробления минерального сырья / Н.И. Сокур, С.А. Учитель, А.Ф. Калиниченко // Оборудование для дезинтеграции минерального сырья. – 1992. 3. Сокур Н.И. К вопросу разрушения минерального сырья в поле центробежных сил / Н.И. Сокур // Новые технологии для переработки руд. – 1993. 4. Бабець Є.К. Управління енергозбереженням в процесах рудо підготовки / Є.К. Бабець, М.І. Сокур. – Кривий Ріг: Мінерал, 2002. – 410 с. 5. Сокур М.І. Центробежные дробилки / М.І. Сокур, І.М. Сокур, Л.М. Сокур. – Кременчуг: ЧП Щербатих, 2009. – 300с.

Надійшла до редколегії 20.08.2010

И.Р. ОСТРОВСКИЙ, ген. директор;
В.Ф. СИРИК, канд. техн. наук, зам. ген. директора,
ООО «Днепропетровский завод бурового оборудования»;
В.Ф. ГАНКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц.;
А.А. ТИТОВ, канд. техн. наук, доц.; **Д.И. ДРАБАН**, студент,
Национальный горный университет, г. Днепропетровск

НАДДОЛОТНЫЕ АМОРТИЗАТОРЫ

Наддолотні амортизатори (демперери) використовують для зменшення амплітуди вібрацій бурового снаряду. Використання амортизаторів збільшує ресурс бурового долота на 20...30 % при збільшенні продуктивності буріння свердловини.

The hole shock absorbers (dempfers) are using to reduce of vertical and torsion vibrations altitude. The using shock absorber enhance drill bit life uh to 20...30 % together with increasing of productivity.

Введение. Добыча твердых полезных ископаемых типа железных руд, и строительных материалов типа гранит, известняк и др., подвергающихся последующему дроблению и обогащению, производится с применением буровзрывных работ. Бурение скважин производится, в основном, шарошечными буровыми долотами, армированными твердосплавными вставками.

При шарошечном бурении скважин в твердых трещиноватых горных породах за счет ударов зубков шарошек о забой скважины возникают вибрации бурильных (утяжеленных) труб, что приводит к преждевременному износу опор шарошек и твердосплавных вставок. Исследования фирмы «Кристенсен» [1] показывают, что амплитуда виброколебаний при бурении крепких и трещиноватых пород может достигать 100 мм и зависит от частоты вращения и компоновки бурильной колонны. Возникающие циклические нагрузки на долото (опору) могут превышать осевую нагрузку в 4 раза.

С целью снижения амплитуды вибраций и защиты бурового долота применяют наддолотные амортизаторы, которые размещают между буровым долотом и бурильными (утяжеленными) трубами. По данным производственных организаций, ведущих буровые работы в крепких горных породах и значительной глубине скважин, использование амортизаторов обеспечивает рост технико-экономических показателей бурения: проходка на одно долото

возрастает на 28...35 % при увеличении механической скорости бурения на 26...32 % [1 – 6].

Нефтегазовая промышленность при бурении глубоких разведочных и эксплуатационных скважин использует амортизаторы различного назначения и отражатели упругих волн, разработанных научными организациями передовых мировых фирм, производящих буровое оборудование: «Верн Гуд», «Дрилко», «Сикюрити», «Хант Тул Компани», «Джонстон Дивижн» и др (США), «Гриффитс Ойл Тул Лимитед» (Канада), НПО «Буровая техника», ВНИИБТ и НПО «Уралмаш» (Р.Ф.), «Укрнафта», АО «УкрНГИ», Институт проблем прикладной механики и математики НАНУ (Украина).

Выделяют два основных направления в создании наддолотных амортизаторов (демпферов): амортизаторы, имеющие упругие элементы с высокими демпфирующими показателями типа пружин, резиновых вкладышей и полостей, заполненных смесью сжатого воздуха с маслом; отражатели упругих волн в виде сложных конструкций, снижающих амплитуду вибраций за счет перемежающихся элементов с различными значениями скорости распространения упругих волн в деталях или поперечных размеров.

Общим для этих амортизаторов является способность снижать амплитуду осевых и торсионных виброколебаний. Выбор типа амортизаторов базируется на конкретных условиях бурения скважин, то есть диаметра и глубины скважин, а также бурового снаряда.

В табл. 1 приведены данные о результатах использования амортизаторов различных типов.

Амортизаторы ООО «ДЗБО». ООО «Днепропетровский завод бурового оборудования» разработало ряд скважинных амортизаторов для разнообразных условий бурения. Для условий бурения неглубоких взрывных скважин разработан нормальный ряд амортизаторов, предназначенных для снижения осевых вибраций, возникающих при шарошечном в горных породах высокой твердости. Осевая нагрузка на буровое долото составляет 200...300 кН и амплитуда вибраций составляет десятки кН, что приводит к критическим нагрузкам на шарошечное долото, которые превышают допустимые, и шариковая опора долота интенсивно изнашивается.

Амортизатор для взрывных скважин состоит из следующих деталей (рис. 1, табл. 2): вала 1 с резьбой в верхней части и шлицевого соединения в нижней части, через которое он соединен с шлицевой втулкой 2. На валу размещена трубчатая цилиндрическая пружина 3 высокой жесткости.

Пружина имеет поперечные прорезы 4 и 5, чередующиеся между собой. Высокая жесткость пружины достигается за счет высоколегированной пружинной стали и закалки ее до высокой твердости. К шлицевому валу болтами 6 присоединен поршень 7, на котором размещены уплотнительные манжеты 8, изолирующие внутреннюю полость и канал в валу от внешнего пространства. В нижней части шлицевой втулки есть резьба 9 для соединения амортизатора с буровым долотом.

Таблица 1

Эффективность применения амортизаторов

Условия бурения			Тип упругого элемента	Прирост показателей		Ресурс долота	Источник
Тип скважины	Глубина скважины, м	Диаметр бурения, мм		$V_{\text{бур}}$	$L_{\text{дол}}$		
Глубокие скважины на нефть и газ	2000...5000	190,5...394	Пружина	20...25	20...25	600 ч.	2,3
			Воздух+масло	-	-	-	1
			Резина	26	28	-	5
			Отражатели	-	-	-	12,13,14
Геолого-разведочные	500...1500	76...131	Резина диски	20...30	20...30	-	7
			Пружины тарельчатые	10...15	10...15	200...400 ч.	15
			Резина стержни	-	-	-	7
Взрывные	15...50	190...244,5	Резина, вкладыши	15...47	20...42	1000...3500 м	6

Работа амортизатор осуществляется следующим образом. При создании осевой нагрузки на буровое долото с помощью гидравлических цилиндров бурового станка пружина 3 сжимается на величину, что равной ее деформации при заданном усилии. При этом высота прорезей 4 и 5 уменьшается пропорционально градиенту нагрузки к жесткости пружины. Поршень 6 перемещается вниз. При изменении осевой нагрузки на долото, вызывающиеся вибрациями за счет ударов твердосплавных вставок о забой скважины, зазоры в прорезях изменяются и ударные усилия после амортизации вместо релаксационных становятся гармоничными и в таком виде передаются на резьбовые соединения бурового става.

Комбинированный амортизатор (рис. 2, табл. 3) состоит из следующих деталей: вал 1 с резьбой 2 для соединения с бурильными трубами. На валу помещена трубчатая пружина 3, имеющая выступы 4 на верхнем и нижнем концах, которые входят в соответствующие пазы в валу и переходнике 5. На

пружине выполнены поперечные прорезы 6 и продольные прорезы 7. К нижнему концу вала 1 болтами 8 присоединен поршень 9, на котором установлены уплотнительные манжеты 10. Соединение нижней части вала 1 с переходником выполнено с возможностью осевого и вращательного перемещения одного относительно другого.

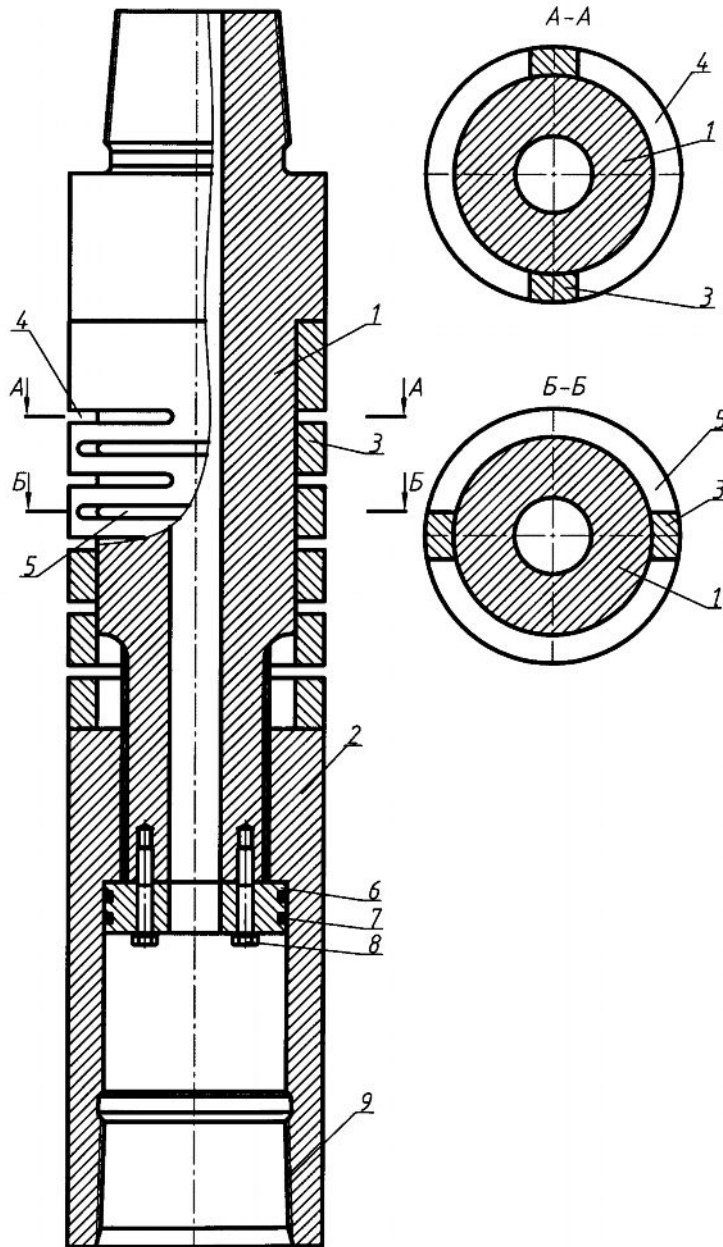


Рис. 1. Скважинные амортизаторы для демпфирования осевых вибраций:
 1 – вал; 2 – шлицевая втулка; 3 – пружина; 4 и 5 – прорезы; 6 – поршень;
 7 – уплотнительные манжеты; 8 – болты; 9 – резьба замковая.

Амортизатор канатного типа (рис. 3) предназначен для геологоразведочного бурения алмазными и твердосплавными коронками и состоит из следующих деталей: верхнего переходника 1, который соединяется с помо-

щью резьбы с корпусом 2, в центральном отверстии которого размещен винт 3, который может свободно перемещаться относительно корпуса.

Таблица 2

Техническая характеристика скважинных амортизаторов

Тип бурового станка	СБШ-200	СБШ-250
Тип амортизатора	АС-180-250	АС-200-320
Диаметр бурения, мм	200...250	250...320
Диаметр корпуса, мм	180	200
Нагрузка на долото, кН	250	320
Максимальный крутящий момент, кН·м	5,5	6,5
Максимальная деформация пружины, мм	20	25
Длина, мм	1200	1280
Масса, кг, не более	250	300

Таблица 3

Техническая характеристика комбинированного амортизатора

Тип амортизатора	АМК-160	АМК-219	АМК-273
Диаметр бурения, мм	170...215	245...270	295...320
Осевая нагрузка, кн.	250	320	400
Крутящий момент, кН·м	3,0	3,5	4,0
Деформация пружины, мм	30	30	40
Угол закручивания пружины, град	15	15	15
Длина, мм	1200	150	1800
Масса, кг, не больше	180	210	270

На резьбе винта размещена гайка 4, которая опирается на верхний торец корпуса. Между верхним торцом винта 3 и диском 5 размещены два конца упругого элемента 6 в виде металлического каната, которые зажаты винтами 7. Корпус 2 соединен с каркасом 8 с помощью выступов 9 и 10 с возможностью осевого и вращательного перемещений одного относительно другого. К каркасу 8 с помощью резьбы присоединен нижний переходник 11, который имеет резьбу 12 для соединения амортизатора с буровым долотом. Нижний переходник 11 имеет горизонтальный 13 и вертикальные 14 каналы, в которых с зазором размещен упругий элемент 6; две струны упругого элемента 6 после выхода из каналов 13 и 14 переплетены в ребрах 15 и окнах 16 в каркасе 8 и навинчены в окнах и ребрах каркаса с направлением винтовой линии, противоположным направлению вращения бурового снаряда. В центральных каналах корпуса 2 та нижнего переходника 11 опирается на патрубок 17, нижний конец которого опирается на площадку в нижнем переходи-

ке, а верхний конец опирается на торец втулки 18, которая нажимает на упругую втулку 19, что размещена между втулкой 18 та корпусом 2.

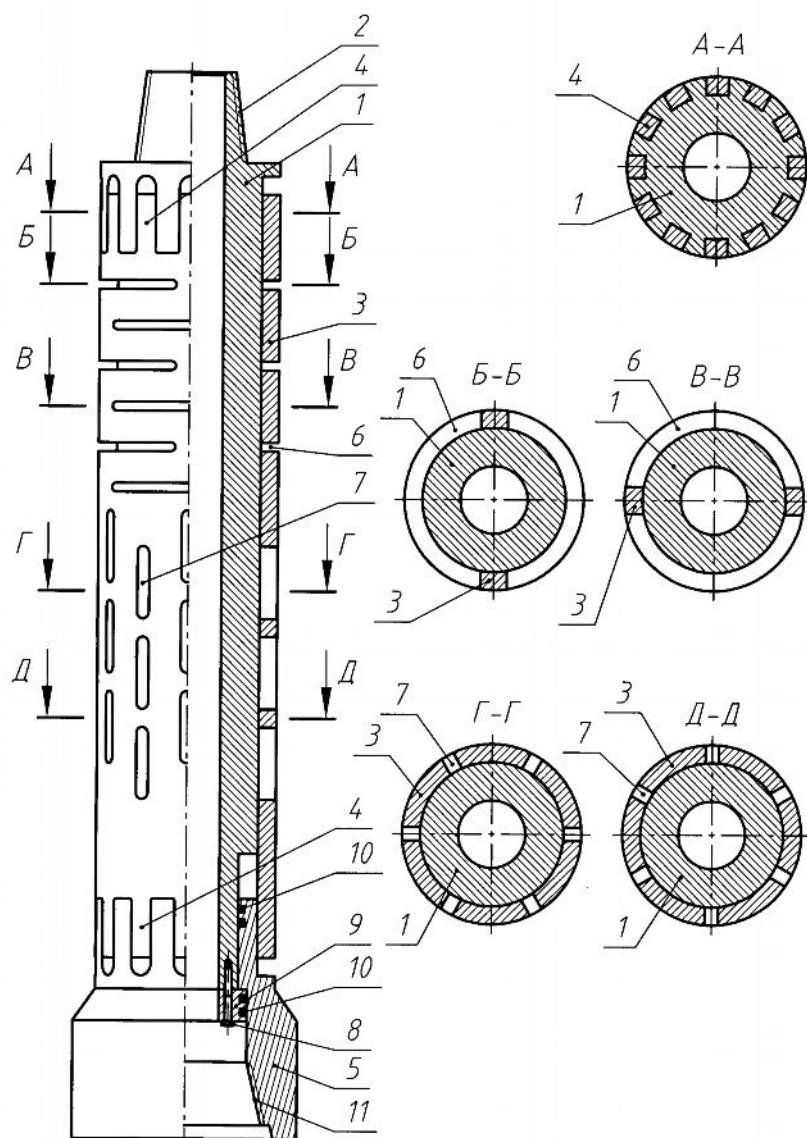


Рис. 2. Скважинные амортизаторы комбинированные, для демпфирования осевых и крутильных вибраций:

- 1 – вал; 2 – резьба; 3 – трубчатая пружина; 4 – выступы на торцах пружины;
- 5 – пазы в переходнике; 6 – поперечные прорези; 7 – продольные прорези;
- 8 – болты; 9 – поршень; 10 – уплотнительные манжеты

Применение скважинного амортизатора при роторном и турбинном бурении скважин в твердых горных породах шарошечными, алмазными и другими буровыми долотами приводит к снижению амплитуды осевых и радиальных вибраций у 2...5 раз и к стабилизации нагрузок на буровое долото.

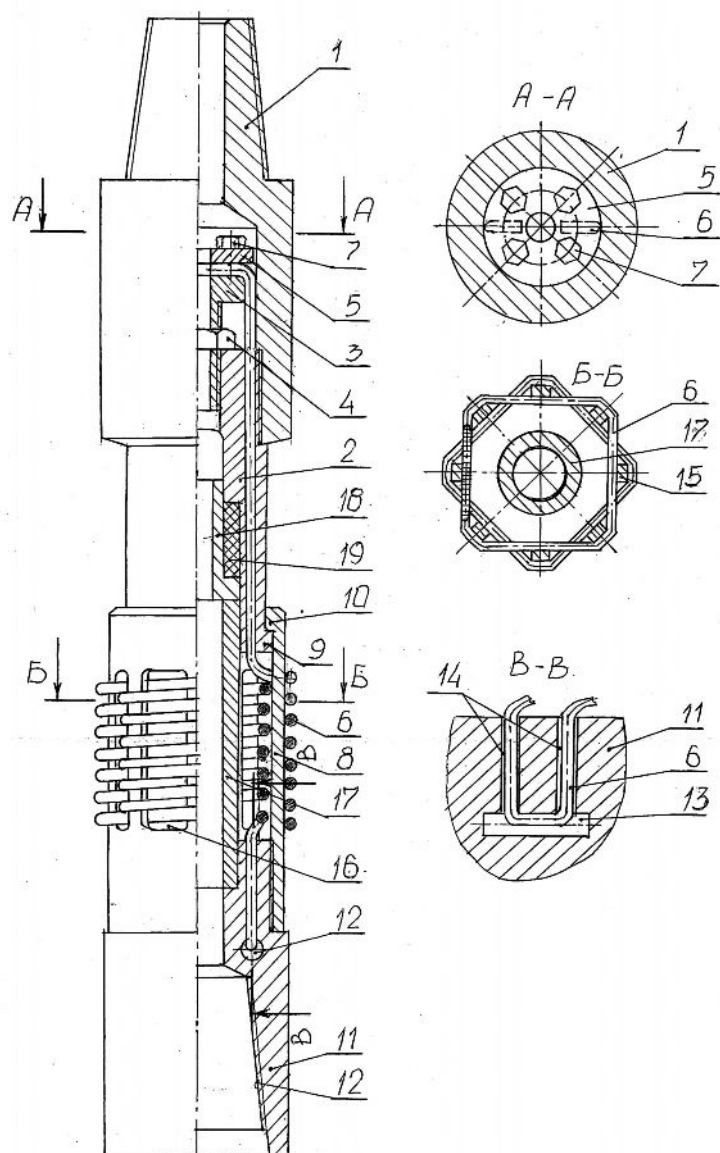


Рис. 3. Амортизатор буровой колонны:

- 1 – верхний переходник; 2 – корпус; 3 – винт; 4 – гайка; 5 – диск; 6 – канат;
 7 – винт; 8 – каркас; 9 и 10 – выступы; 11 – нижний переходник; 12 – резьба;
 13 и 14 – каналы; 15 – ребро; 16 – окна; 17 – патрубок; 18 и 19 – втулки

Методика расчетов амортизаторов. Выбор конструктивных размеров амортизаторов производится путем расчетов параметров пружины, которые соответствуют осевым и крутильным вибрациям и обеспечивают передачу осевой нагрузки и крутящего момента к буровому долоту.

Для осевых вибраций задают максимальную нагрузку на пружину и ее линейную жесткость в вертикальном направлении.

Для крутильных (торсионных) вибраций – соответственно максимальный крутящий момент и угловую жесткость.

Рассмотрим наиболее сложные условия – одновременное действие осе-

вых и радиальных вибраций, то есть комбинированные амортизаторы.

Для осевой нагрузки – это составляет частный вид нагрузки.

Комбинированный амортизатор (рис. 2) состоит из двух основных участков: участка с поперечными и участка с продольными прорезями. Осевая жесткость участка с поперечными прорезями обусловлена деформациями изгиба ее полуколец. Эту величину можно определить как жесткость рессоры с прямоугольными прорезями по формуле [9]:

$$C_{ос.попер} = \frac{32 \cdot b \cdot h^3 \cdot E}{(i - 1 \cdot l^3)} \cdot H / м$$

где: b – поперечная толщина цилиндрической пружины, м; h – высота кольца пружины, м; E – продольный модуль прочности металла, Па; i – количество поперечных прорезей по высоте; l – активная длина средней линии полукольца, м, которая определяется по формуле:

$$l = 0,5 \cdot \pi \cdot D - l_1, м$$

где: l_1 – длина участка соединения между верхним и нижним кольцами, м; D – средний диаметр амортизатора, м.

Крутильная жесткость прорезной пружины с поперечными прорезями обусловлена деформациями кручения тонкостенных участков между соседними по высоте кольцами и определяется по формуле:

$$C_{угл.попер} = \frac{W_k \cdot D \cdot G}{2 \cdot i \cdot h}, H / м$$

где G – модуль сдвига материала пружины, W_k – момент сопротивления относительно кручения, который определяется по формуле:

$$W_k = \frac{2 \cdot l_1 \cdot h^2}{3}, м^3$$

Осевая жесткость (рис. 4) цилиндрической прорезной пружины обусловлена деформациями сжатия тонкостенных промежутков металла между прорезями и определяется по формуле:

$$C_{ос.прод.} = \frac{j \cdot l_2 \cdot b \cdot E}{E}, Н / м$$

где: j – количество продольных прорезей по окружности; l_2 – среднее расстояние между прорезями, м.

Осевая жесткость цилиндрической прорезной пружины с продольными прорезями после преобразований расчетных формул определяется по формуле:

$$C_{угл.прод.} = \frac{l_2 \cdot b^2 \cdot D \cdot G}{6h}, Н / м$$

Любой амортизатор содержит, кроме прорезных частей, участки в виде непрерывных колец, суммарную высоту которых между точками крепления амортизаторов обозначим через H .

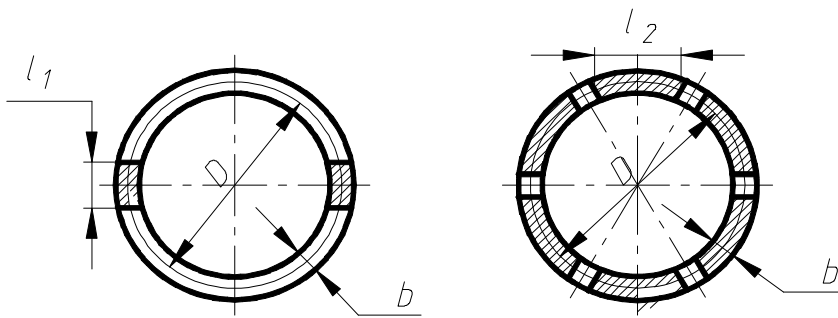


Рис. 4. Схема к расчету жесткости амортизаторов:
 а – поперечное сечение участка с поперечными прорезями;
 б – поперечное сечение участка с продольными прорезями

Тогда выражения для осевой и крутильной жесткостей этих участков будут иметь следующие выражения:

$$C_{ос.кол.} = \frac{\pi \cdot D \cdot b \cdot E}{H}; \quad C_{угл.кол.} = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot b \cdot G}{2 \cdot H}.$$

Суммарные осевая и крутильная жесткости комбинированного амортизатора будут определяться по формулам, определяющим последовательное соединение упругих элементов, соответственно:

$$C_{ос} = \frac{C_{ос.попер.} \cdot C_{ос.прод.} \cdot C_{ос.кол.}}{C_{ос.попер.} \cdot C_{ос.прод.} + C_{ос.попер.} \cdot C_{ос.попер.} \cdot C_{ос.кол.} + C_{ос.прод.} \cdot C_{ос.кол.};$$

$$C_{\text{угл.}} = \frac{C_{\text{угл.попер.}} \cdot C_{\text{угл.прод.}} \cdot C_{\text{угл.кол.}}}{C_{\text{угл.попер.}} \cdot C_{\text{угл.прод.}} + C_{\text{угл.попер.}} \cdot C_{\text{угл.кол.}} + C_{\text{угл.прод.}} \cdot C_{\text{угл.кол.}}};$$

Эти величины определяют непосредственную связь между нагрузками и деформациями амортизатора, а именно:

$$C_{\text{ос}} = \frac{P}{\Delta}; \text{ м;} \quad C_{\text{угл.}} = \frac{M_{\text{к}}}{\varphi} \cdot \text{град};$$

где: P и $M_{\text{к}}$ – соответственно максимальная осевая нагрузка и крутящий момент, что действуют на амортизатор; Δ и φ – соответственно максимальные осевая деформация и угол закручивания амортизатора.

Выводы.

Использование амортизаторов позволяет повысить технико-экономические показатели бурения в 1,2...1,4 раза. Для бурения взрывных скважин рекомендуется амортизатор в виде трубчатой пружины с поперечными прорезями для снижения амплитуды осевых вибраций. Для бурения глубоких скважин на нефть и газ рекомендуется комбинированный амортизатор в виде трубчатой пружины с поперечными и продольными прорезями. Для геологоразведочного бурения может использоваться амортизатор, в котором в качестве упругого элемента используется стальной канат.

Список литературы: 1. Масленников И.К. Инструмент для бурения скважин: справочное пособие / И.К. Масленников, Г.И. Матвеев. – М.: Недра, 1981. – 335 с. 2. Мислюк М.А. Буріння свердловин: в 5 т. / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Р.С. Яремійчук. – К.: «Інтерпрес ЛТД», 2002. – Т. 1: Загальні відомості. Бурові установки. Обладнання і інструмент. – 2002. – 540 с. 3. Саврей С.Я. Результаты промышленных испытаний амортизатора АЗЭ-190,5-4-146 / С.Я. Саврей // Бурение. – 1982. – № 4. – С. 25 – 26. 4. Тимофеев Н.С. Особенности работы турбобуров в компоновке с амортизатором / Н.С. Тимофеев, М.И. Ворожбитов, Т.И. Дранкер // Бурение. – 1971. – № 10. – С. 12 – 13. 5. Габдрахимов М.С. Бурение скважин с использованием наддолотных многоступенчатых виброгасителей / [М.С. Габдрахимов, А.С. Галеев, Б.З. Султанов и др.] // Нефтяное хозяйство. – 1990. – № 4. – С. 24 – 25. 6. Левин Ю.П. Испытания наддолотных амортизаторов АН-195 на Магнитогорском руднике / Ю.П. Левин // Взрывное дело. – 1974. – № 73/30. – (Буровзрывные работы в народном хозяйстве). – С. 62 – 65. 7. Каталог геологоразведочного оборудования, разработанного геологическими организациями РСФСР: Ч. 1. – М.: Недра, 1988. – С. 154. 8. Вибрации в технике: справочник в 6 томах / [под редакцией Э.Э. Лавендела]. – М.: Машиностроение, 1979. – Т. 4. – 509 с. 9. Детали машин. Расчет конструирование: в 3 томах / [под ред. Ачеркана Н.С.]. – М.: Машиностроение, 1968. – Т. 2. – 408 с. 10. Пат. № 18404 Украины. Свердловинний амортизатор / Островський І.Р., Лісниченко В.А., Сірик В.Ф. та ін.; опубл. 2006, Бюл. № 11. 11. Пат. № 18799 України.

Свердловинний амортизатор / *Островський І.Р., Лісниченко В.А., Сірик В.Ф. та ін.*; опубл. 2006, Бюл. № 11. **12.** Пат. № 7442 України. Хвилевий відбивач / *Малярчук Б.М., Огородніков П.І. та ін.*; опубл. 2005, Бюл. № 6. **13.** Пат. № 7279 України. Антивібраційна компоновка низу бурильної колони / *Малярчук Б.М., Огородніков П.І. та ін.*; опубл. 2005, Бюл. № 6. **14.** Пат. № 15483 України. Амортизатор бурильної колони / *Рибчич І.Й., Малярчук Б.М., Огородніков П.І. та ін.*; опубл. 2006, Бюл. № 7. **15.** *Блинов Г.А.* Справочник по алмазному буренню геологоразведочных скважин / [Г.А. Блинов, В.И. Васильев, О.С. Головин и др.]. – Л.: Недра, 1975 – 296 с.

Поступила в редколлегию 17.07.10

УДК 621.355

В.Ю. БАКЛАН, канд. хім. наук, пров. наук. співроб.,
ОНУ ім. І.І. Мечникова, м. Одеса

НАНОГРАФІТ ЯК КАТАЛІЗАТОР КИСНЕВОГО ЕЛЕКТРОДУ ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ

В статті дається історичний опис розвитку низькотемпературних воднево-кисневих паливних елементів на Україні, а потім досліджується новий матеріал – нанографіт як каталізатор електровідновлення кисню. Створені газодифузійні електроди з активною масою та гідрозатворним шаром на основі нанографіту з доданням тефлону Ф-4Д. Активність таких електродів нижча чим вугілля, але набагато вища чим графіт.

The historical essay on development of low temperature hydrogen-oxygen fuel cells in Ukraine is given. A new carbon material - nanographite as the catalyst of oxygen electroreduction have investigated. Belay-ered gasdiffusion electrodes with active mass and hydrolocking layers on the basis of nanographite with addition of teflon F-4D suspension are made. Activity of such electrodes is less, than coal, but much higher then graphite.

Вступ. В Україні паливними елементами (електрохімічними генераторами струму неперервної дії, в якому енергія хімічної реакції безпосередньо перетворюється в електричну) займаються в проблемній науково-дослідній лабораторії паливних елементів (ПНДЛ ПЕ) Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова, створеної в 1962 р. відповідно Постанови Ради Міністрів УРСР № 67 від 20 січня 1962 р. Засновник – видатний, всесвітньо відомий в області фізичної та квантової хімії вчений, доктор технічних наук, професор, батько українських паливних елементів Давтян Оганес Карапетович.



Рис. 1. Проф. Давтян О.К. зі своєю ученицею Баклан В.Ю. на II Фрумкінському симпозиумі в м. Москві, 1981 год

За порівняно короткий час під керівництвом проф. Давтяна О.К., а у подальшому, з 1969 р., і проф. В.О. Преснова і завідуючого лабораторією доцента Макордея Ф.В. в ПНДЛ ПЕ було виконано ряд принципово важливих досліджень каталізаторів елект-рохімічних процесів, що не вміщують дефі-цитних матеріалів, створені різні типи елек-тродів, розроблені конструкції паливних елементів, батарей паливних елементів (рис. 2) та електрохімічних генераторів [1 – 2].

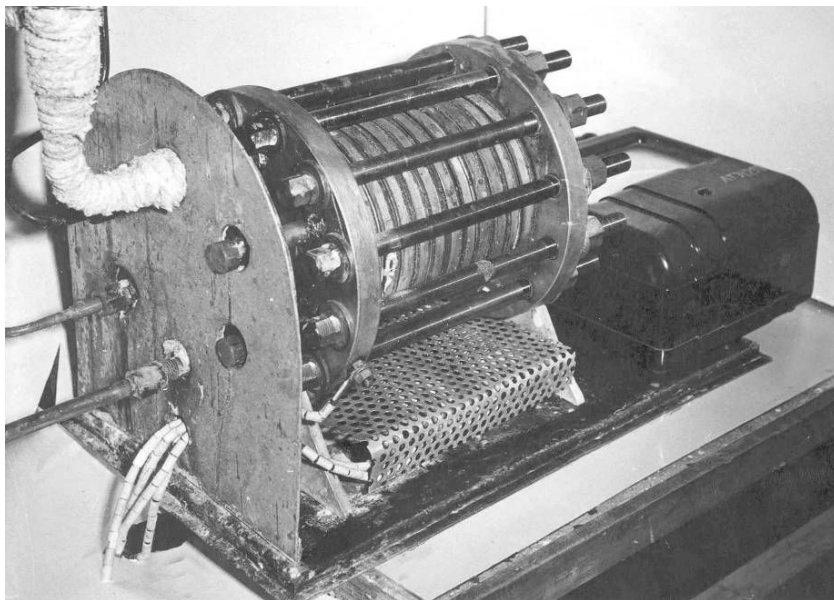


Рис. 2. Однокіловатна воднево-киснева батарея паливних елементів

Постановка задачі. Як відомо, самими активними каталізаторами реакції електровідновлення кисню є платина та срібло. Однак, широке використання таких матеріалів обмежене в зв'язку з високою їх вартістю та дефіцитністю. На зміну їм розроблені та досліджені декілька типів каталізаторів електровідновлення кисню для повітряних (кисневих) електродів хімічних джерел струму, а саме – активоване вугілля в чистому вигляді та промотоване оксидами перехідних металів, промотована ацетиленова сажа, складні оксиди перехідних металів типу шпінелей (NiCo_2O_4) та перовскитів [3 – 5].

Виклад основного матеріалу. Газодифузійні електроди на основі вищеназваних каталізаторів виготовлялись декількома методами.

Для роботи з перепадом тиску використовувалися металокерамічні пористі гідрозатворюючі шари, а для роботи повітряних (кисневих) електродів використовували затворюючий шар на основі ацетиленової сажі, гідрофобізованої фторопластом Ф-4Д.

Таким чином, границя трьох фаз (зона реакції) створюється перепадом тиску між електролітом та газовою стороною електроду або градієнтом змочування шарів.

Електрохімічна активність досліджувалася в 30 % розчині КОН при кімнатній температур – трьох повітряних електродів з активною масою на основі ацетиленової сажі, активованої 10 % MnO_2 , з активною масою на основі шпінелі $NiCo_2O_4$ та з активною масою на основі активованого вугілля.

Електроди різняться величиною початкового потенціалу, який змінюється від 0,2 В (для сажі + MnO_2) до 0,05 В (для вугілля). Але при одній величині поляризації, наприклад 0,2 В, щільність струму практично співпадають.

Нанотехнології, що розвиваються в останні часи, дозволили одержати новий вуглецевий матеріал – нанографіт, який по своїм властивостям відрізняється від відомих вуглецевих матеріалів.

Їх питома поверхня складає $4,10^3$ м²/г, а електропровідність близька до електропровідності графіту.

Нанографіт одержують термічним розпиленням графітового електроду в плазмі дугового розряду, палаючого в атмосфері He.

Продукти розпилення містять поряд з частками графіту також деяку кількість фулеренів, що осаджуються на холодних стінках розрядної камери, а також на поверхні катоду більш холодного в порівнянні з анодом.

При розгляді цього осаду знайшли протяжні циліндричні трубки довжиною понад мікрон і діаметром у декілька нанометрів, поверхня яких утворена графітовими шарами [6, 7].

Новий матеріал використовувався для виготовлення гідрозапираючого шару в двошарових газодифузійних електродах і активного шару таких само електродів. Електроди досліджувалися як катоди в реакції електровідновлення кисню.

Гідрофобізація матеріалу, що необхідна для створення границі трьох фаз, проводилася введенням тefлонової суспензії Ф-4Д в кількостях 15 – 50 мас. % для активного шару і 50 – 75 мас. % для гідрозапираючого шару.

Для порівняння були виготовлені і досліджені електроди із сажевим гід-

рофобізованим гідрозапірним шаром і активною масою на основі активованого вугілля, нікель-кобальтової шпінелі і графіту.

Виготовлення електродів проводили одночасним пресуванням двох шарів (активного та затворного) на нікелеву сітку, розташовану між ними. Спінання електродів проводили при 300 °С на повітрі.

Електрохімічна активність повітряних електродів визначалася зняттям вольт-амперних характеристик в напівелементах при кімнатній температурі в 30 % КОН за допомогою окисно-ртутного електроду порівняння. Дані наведені в таблиці.

Таблиця

Електрохімічна активність газодифузійних електродів

Активна маса	Запираючий шар 30 % Ф-4Д	Щільність струму мА/см ² при 0.2 В	Час до промокання під навантаженням, доба
Вугілля	Сажа	80-90	>60
Ni-Co шпінель	Сажа	90-100	20
Графіт	Сажа	5-10	30
Вугілля	Нанографіт	75-80	40
Ni-Co шпінель	Нанографіт	75-80	10
Нанографіт 50% Ф-4Д	Нанографіт	60	90
Нанографіт 30% Ф-4Д	Нанографіт	30	15

Досліджувалися повітряні електроди на основі нанографіту та графіту: електрод з активною масою на основі нанографіту та 15 % тефлону, на основі нанографіту та 50 % тефлону та на основі графіту та 15 % тефлону.

Початкові потенціали електродів з використанням нанографіту та графіту менше 0,05 В і не залежить від змочування [8].

Електроди на основі нанографіту не відрізняються високою активністю в порівнянні з активованим вугіллям і Ni-Co шпінеллю [5].

Однак в порівнянні з графітом активність збільшується на порядок.

Так, на електродах з графіту отримана щільність струму складає 5 – 10 мА/см², на електродах з нанографіту – 60 мА/см².

Недоліком дослідженого матеріалу є його часткова гідрофільність, яка зв'язана з капілярними властивостями.

Треба відмітити, що дослідження вуглецевого нанографіту представляють значний фундаментальний та прикладний інтерес.

Фундаментальний інтерес до цього об'єкту обумовлений, в першу чергу, його незвичайною структурою та широким діапазоном змін фізико-хімічних властивостей в залежності від хіральності.

Висновки:

До проблеми дослідження фундаментальних властивостей вуглецевого нанографіту щільно примикає проблема прикладного використання.

Рішення цієї проблеми, в свою чергу, залежить від створення способів дешевого одержання вуглецевого нанографіту у великій кількості.

Ця проблема поки виключає можливість великомасштабного використання цього матеріалу.

Проте такі властивості нанографіту, як поверх мініатюрні розміри, хороша електропровідність, високі емісійні характеристики, висока хімічна стабільність при існуючій пористості і здібність приєднувати до себе різноманітні хімічні радикали, дозволяє сподіватися на ефективне застосування нанографіту в таких областях, як вимірювальна техніка, електроніка і наноелектроніка, хімічна технологія тощо.

У випадку успішного рішення цих задач ми станемо свідками ще одного прикладу ефективного впливу фундаментальних досліджень на науково-технічний прогрес.

Список літератури: 1. *Baklan V.* The State of Fuel Cells and Its Development in Ukraine / *V. Baklan, M. Uminsky, I. Kolesnikova* // NATO ARV "Fuel Cell Technologies", Yune 06-10 2004. – Kyiv, 2004. – P. 89. 2. *Baklan V.Yu.* The state of Fuel Cells and its development in Ukraine / *V.Yu. Baklan, M.V. Uminsky, I.P. Kolesnikova* // In Fuel Cells Technologies State and Perspectives. NATO Science. Series. II. Mathematics, Physics and Chemistry. – Springer, Dodrecht, 2005. – Vol. 22. – P. 181 – 186. 3. *Тарасевич М.Р.* Электрохимия углеродных материалов / *М.Р. Тарасевич.* – М.: Наука, 1984. – 253 с. 4. *Фиалков А.С.* Углеродитовые материалы / *А.С. Фиалков.* – М.: Энергия, 1979. – 320 с. 5. *Уминский М.В.* Влияние условий синтеза на электрофизические свойства ацетиленовой сажи, активированной диоксидом марганца / *М.В. Уминский, Ф.В. Макордей, В.Ф. Хитрич* // Укр. хим. Журнал. – 2001. – Т. 67, № 10. – С. 94 – 97. 6. *Елецкий А.В.* Углеродные нанотрубки // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 945 – 972. 7. *Елецкий А.В.* Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172, № 4. – С. 431 – 438. 8. *Баклан В.Ю.* Вуглецеві нанотрубки як каталізатори електровідновлення кисню / *В.Ю. Баклан, І.П. Колеснікова, М.В. Умінський М.В.* // Тез. доп. XVII Укр. конф. з неорг. Хімії за міжнародною участю. – Львів, 2008. – С. 265.

Поступила в редколлегию 20.08 2010

Д.А. СТРАТИЙЧУК, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудн.,
ИСМ НАН Украины, г. Киев

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ B_4C

В роботі розглянуто процеси подрібнення мікропорошку B_4C шляхом диспергування в планетарному активаторі та за допомогою техніки високого тиску без використання рідких середовищ. Згідно даних гранулометричного аналізу та електронної мікроскопії простежено залежність середнього розміру частинок та їх морфології від способу диспергування. При використанні методики подрібнення під високим тиском оптимізовано комірку високого тиску (Ta -пластини) та виявлено додаткове зменшення розміру частинок B_4C під час нагрівання при тиску 7,7 ГПа за рахунок рекристалізаційних процесів.

The processes of crushing of B_4C micro-powder by way of dispersing in a planetary activator and by the high-pressure technique, which is beyond liquid media use, were discussed in the paper. The dependence of the average particle size and their morphology from the method of crushing have been studied with use of granulometric analysis and electron microscopy. High-pressure cell (Ta -plates) was optimized when the method of crushing under high pressure was used. A further reduction of B_4C particle size was observed at the heating under a pressure of 7.7 GPa due to processes of re-crystallization.

В современном материаловедении керамик инженерного назначения можно выделить наиболее важные взаимосвязанные между собой проблемы.

Это – разработка новых материалов и поиск новых подходов для получения новых структурных типов, а также определения областей применения разработанных материалов [1 – 4].

Одним из важных фактором который позволяет манипулировать микро-структурным состоянием керамических материалов является деформационное состояние исходных компонентов [5].

Карбид бора как высокотвёрдое вещество с высокими упругими модулями представляет значительный интерес в материаловедении керамик.

Одним из основных недостатков которые сдерживают его практическое применение является низкая прочность и трещиностойкость.

В представленной работе рассмотрено влияние 2-х типов измельчения на свойства микропорошка карбида бора – как основного исходного компонента для получения новой сверхтвёрдой керамики.

В качестве исходного сырья был выбран микропорошок B_4C марки "ч" Запорожского абразивного комбината с размером частиц от

1 – 120 мкм (рис. 1), из которого была отобрана крупнозернистая фракция 30/100.

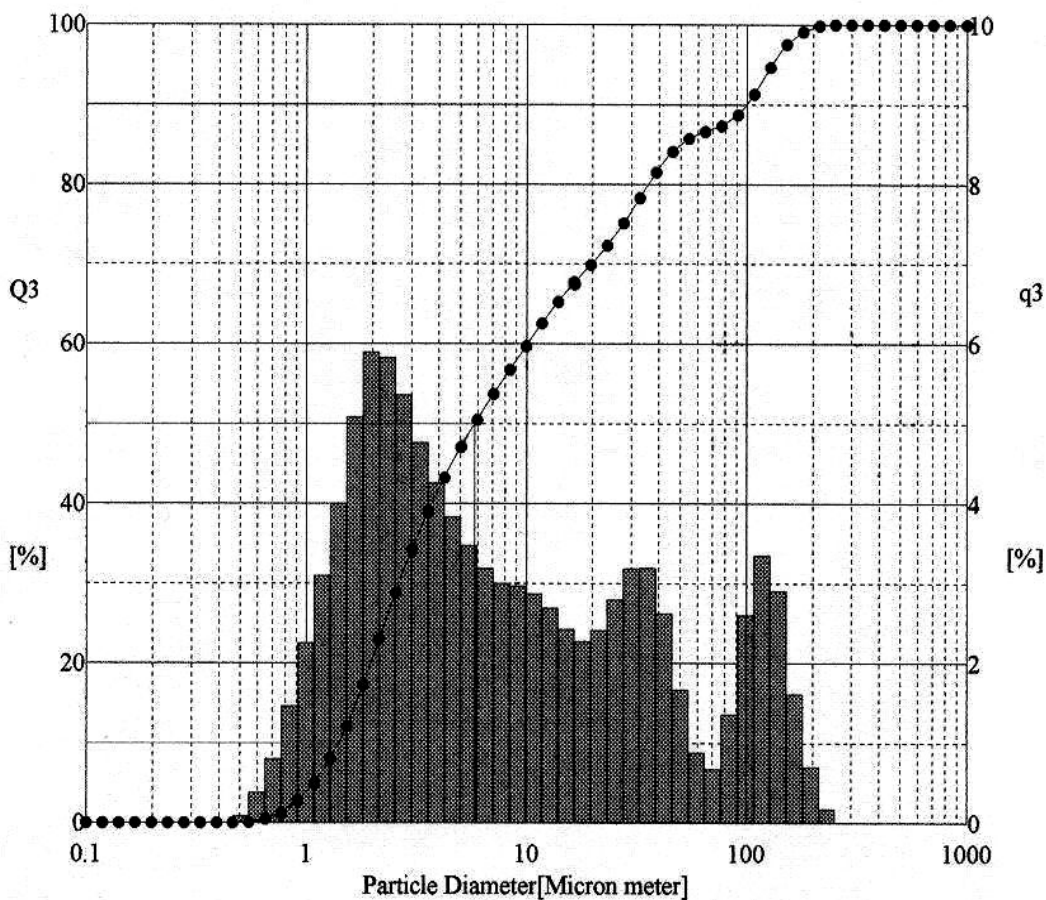


Рис. 1. Гранулометрический состав исходного микропорошка B_4C

Процессы измельчения проводились без использования жидких сред в высокоэнергетическом планетарном активаторе МПФ-1 и в аппарате высокого давления (АВД) типа «тороид-20».

В планетарном активаторе центробежное ускорение составляло от 60 до 80 g, в качестве рабочих тел использованы твёрдосплавные шары. Соотношение масс диспергируемое вещество/рабочее тело составляло 1/5.

Гранулометрический состав, полученных после размол порошков, определяли методом седиментации в H_2O на приборе SK LASER MICRON SIZER.

Используя сканирующую электронную микроскопию было показано, что частицы исходного B_4C являются монокристаллическими с преимущественно полиэдрической огранкой; поверхности их огранки были слаборельефными.

Осколки частиц размерами < 1 мкм представляли собой пластинки с разрыхленными приповерхностными зонами. Двойники которые являются характерным дефектом (как ростовым, так и деформационным) для кристаллов карбида бора, в исходных частицах не наблюдались.

Типичное электронно-микроскопическое изображение частиц приведено на рис. 2 а.

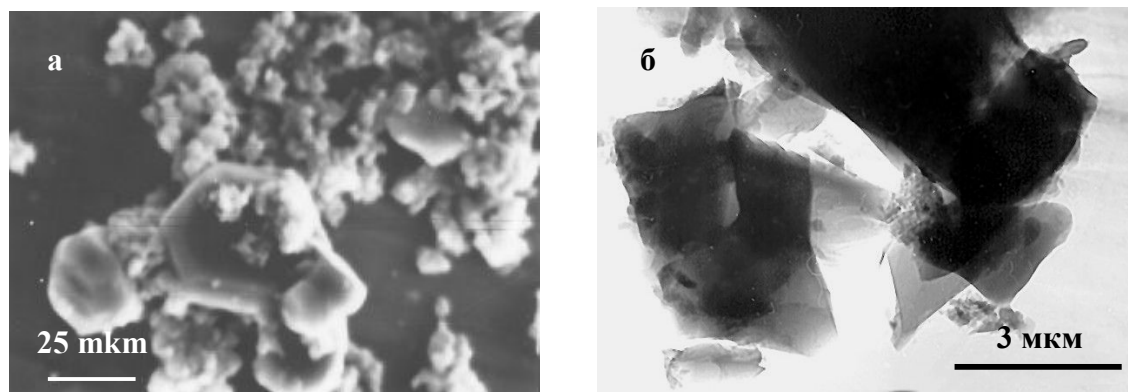


Рис. 2. Изображение частиц исходного B_4C (а) и после планетарного размола (б) 3 мин

В дальнейшем используя планетарный активатор был произведён размол порошка B_4C . Учитывая высокую хрупкость и достаточно высокую активность B_4C , а также для достижения изотипности условий в планетарном активаторе и АД размол осуществляли без использования жидких сред. Время размола составляло 3 мин.

Результаты гранулометрического анализа микропорошка после размола представлены на рис. 3.

Как видно из данных имеет место резкое уменьшение среднего размера зерна и смещение гранулометрического центра в сторону субмикронных и нано-размерных величин. В целом трещинообразования и раскол частиц на несколько частей приводит к двух-фракционному составу полученного порошка.

Проверяя полученные данные гранулометрического состава методом электронной микроскопии было показана следующее (рис. 2 б): в результате высокоэнергетического воздействия микрочастицы приобрели ярко выраженную остроугольную морфологию и представлены как отдельными полиэдрическими формами субмикронного размера так и агломератами из частиц более меньшего размера.

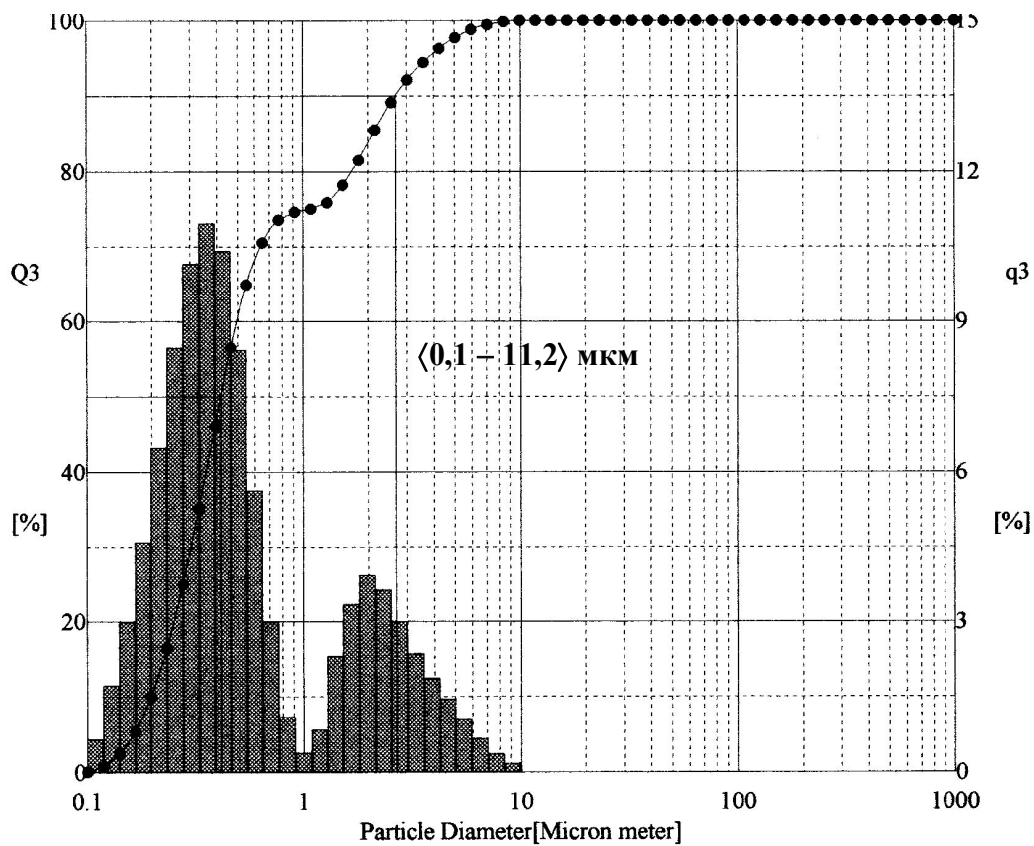
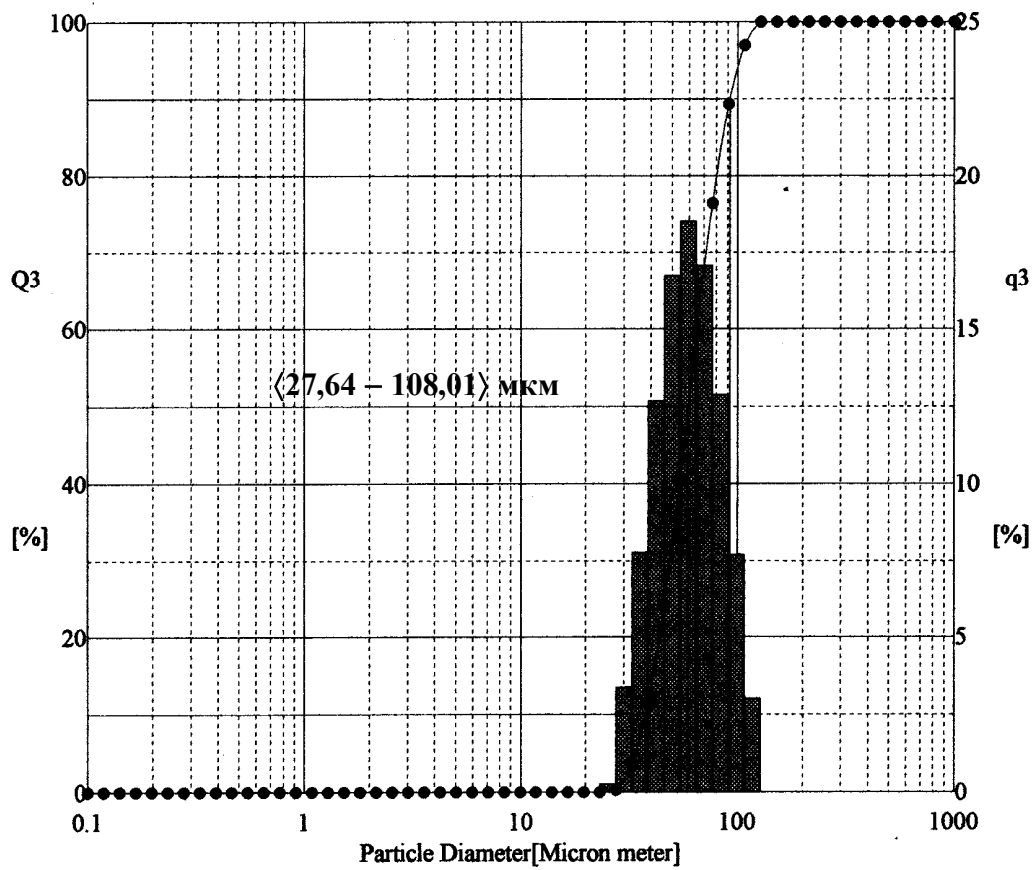


Рис. 3. Изменение гранулометрического состава микропорошка карбида бора после 3 мин планетарного диспергирования

Таким образом сформировался микропорошок в котором присутствуют частицы 2-х типов- отдельно стоящие субмикронные и агломераты из частиц размер которых граничит с нано-уровнем.

Следующим этапом исследования было изучения влияния статического давления на гранулометрический состав и структуру микропорошка B_4C .

На рис. 4 показана схема ячейки высокого давления которая была использована для создания необходимых барических условий в АВД.

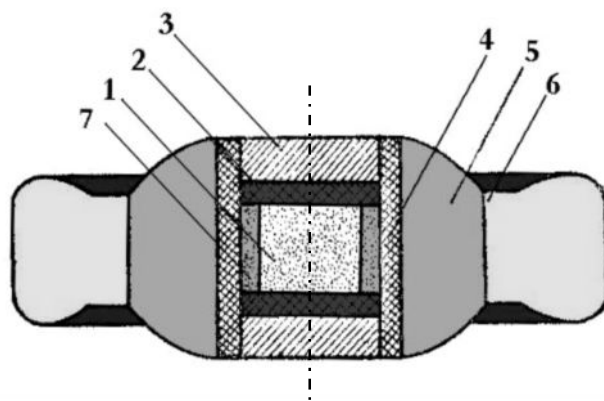


Рис. 4. Схема ячейки высокого давления (ЯВД):

- 1 – исходный порошок (B_4C); 2 – диски из Ta пластины;
3 – торцевые диски из керамики на основе ZrO_2 ; 4 – графитовый нагреватель;
5 – втулка из блочного $CaCO_3$; 6 – уплотнительное кольцо из прессованного $CaCO_3$;
7 – втулка из $BN_{гр}$

Для усиления эффекта одноосного сжатия в конструкцию [6] классического аппарата высокого давления «торроид-20» были внесены изменения в виде танталовой пластины толщиной 2 мм, что позволило добиться более глубокой степени диспергирования. При проведения эксперимента определённая порция микропорошка B_4C была расположена в центральной части ячейки между 2-я танталовыми пластинами и подвергнута сжатию квазигидростатическим давлением 7,7 ГПа при 293 К.

Как показали исследования гранулометрического состава процессы разрушения микрочастиц происходят непосредственно при увеличении давления и прекращаются при его стабилизации.

На рис. 5 представлены результаты гранулометрического анализа для данного типа измельчения.

Видно, что применение статических методов приводит к образованию более моногамной порошковой массе где на ряду с крупными зёрнами в со-

измеримом количестве присутствуют частицы субмикронного диапазона, а средний размер зерна уменьшается более чем в 3 раза.

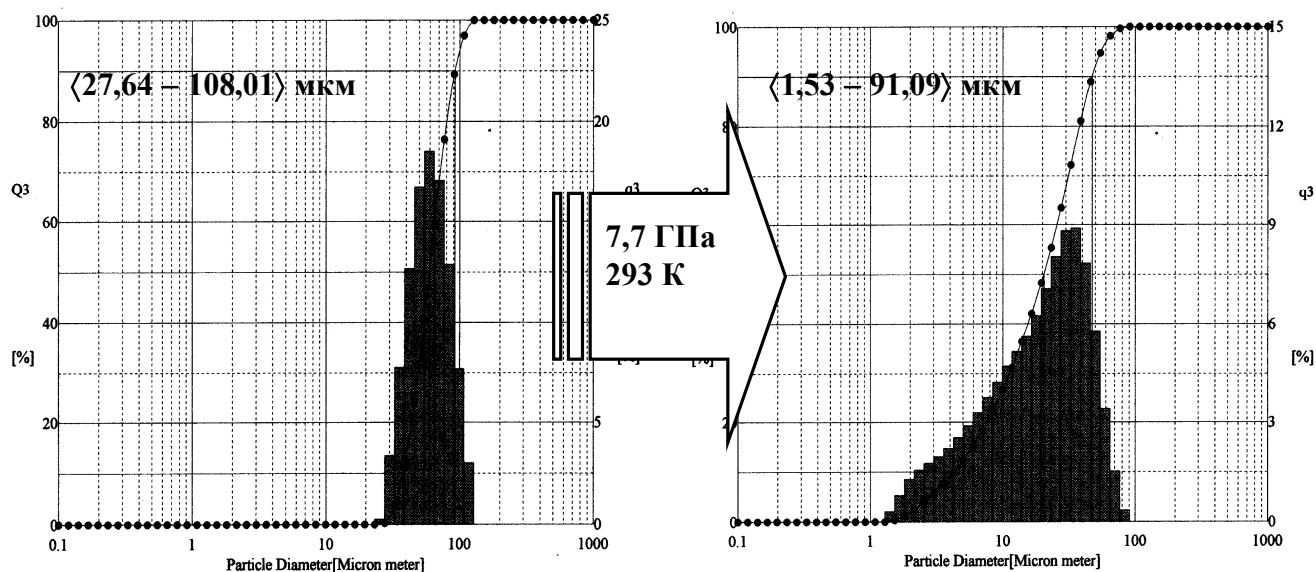


Рис. 5. Изменение гранулометрического состава микропорошка B_4C после воздействия квазигидростатического давления 7,7 ГПа при $T = 293 \text{ K}$

Согласно данным электронной микроскопии при статическом сжатии порошка под высоким давлением происходит хрупкое разрушение как крупных зёрен, так и мелких поликристаллических сростков с образованием остроугольных осколков и агрегатов содержащих магистральные трещины.

Данный эффект следует рассматривать как самоиндентирование при преимущественно одноосном сжатии что несомненно приводит к появлению мелкосоставляющей фракции на ряду с крупными (20 – 90 мкм) зёрнами.

На данном примере показано эффективное влияние техники высокого давления на средний размер частиц карбида бора, что в дальнейшем может использоваться для получения высокоплотных мелкозернистых композиционных материалов.

Примечательно, что дальнейшее нагревание в ячейке высокого давления уже полученного дисперсного продукта до высоких температур (2273 К) приводит к дополнительному уменьшению размеров агрегатов, появлению двойников и нанопор.

При этом система эволюционно наследует зёрненный состав микропорошка который сформировался при температуре 293 К и $P = 7,7 \text{ ГПа}$.

На рис. 6 показано изображение отдельного зерна B_4C после воздействия дополнительного нагревания.

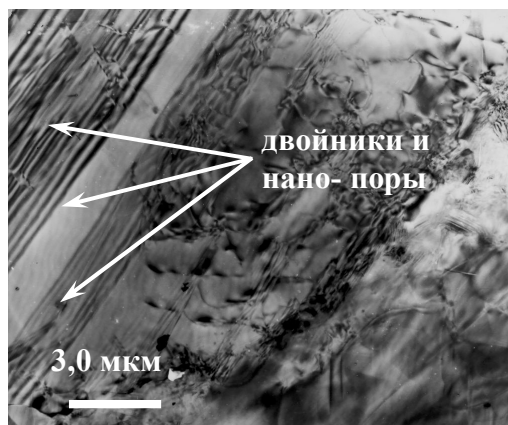


Рис. 6. Изображение зерна B_4C в керамике полученной при $P - 7,7$ ГПа и $T - 2273$ К. Стрелками показаны двойники.

Значительное уширение дифракционных линий (согласно данным *XRD*- анализа) отвечающих 104, 021, 113 рефлексам по отношению к исходного порошку также свидетельствует о появлении мелкодисперсной дефектной фазы с многочисленными границами зёрен и дислокаций.

Выводы:

Таким образом проведя сравнительный анализ процессов измельчения микропорошка карбида бора двумя независимыми методами было показано, что использование высокоэнергетического размола приводит к формированию остроугольной морфологии частиц 2-х типов размеров: субмикронные от 10 до 1 – 2 мкм и частиц с размером менее 1 мкм.

Применяя статические методы разрушения при 7,7 ГПа формируется продукт более равномерный по гранулометрическому составу где в равной степени представлены как крупные агломераты так и мелкозернистые частицы.

Представленная работа является модельной и показывает характер поведения хрупкого высокотвёрдого материала в 2-х различных условиях диспергирования. В дальнейшем результаты этих исследований были положены в основу исследования особенностей спекания керамических материалов на основе карбида бора при давлениях от 2 до 8 ГПа с целью получения B_4C -композитов с повышенными физико-механическими характеристиками.

Список литературы: 1. *Haines J.* The search for superhard materials: a new approach / *J. Haines, J.M. Leger* // Сверхтвердые материалы. – 1998. – № 2. – С. 3 – 9. 2. *Lowther J.E.* Symmetric structures of ultrahard materials / *J.E. Lowther* // *J. Amer. Ceram. Soc.* – 2002. – Vol. 85. – P. 55 – 58. 3. *Evans A.G.* Perspective on the development of high-toughness ceramics / *A.G. Evans* // *J. Amer. Ceram. Soc.* – 1990. – Vol. 73, № 2. – P. 187 – 206. 4. *Lutz E.H.* K^R -curve behavior of duplex ceramics / *E.H. Lutz, N. Claussen* // *ibid.* – 1991. – Vol. 74, № 1. – P. 11 – 18. 5. *Becher P.F.* Microstructural design of toughened ceramics / *P.F. Becher* // *ibid.* – 1991. – Vol. 74, № 2. – P. 255 – 269. 6. *Бакуль В.Н.* Зависимость стойкости геометрически подобных камер высокого давления от рабочего объема / *В.Н. Бакуль, А.Й. Прихна, А.В. Герасимович* // Синтетические алмазы. – 1974. – Вып. 3. – С. 3 – 8.

Поступила в редколлегию 11.06.10

УДК 65.011.56: 681.5.015

М.О. КАРЧЕВСЬКА, асистент, КНТУ, м. Кіровоград, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РУЙНУВАННЯ ТВЕРДОГО В КУЛЬОВИХ МЛИНАХ З МЕТОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ

Приведені результати дослідження руйнування твердого в кульових млинах з метою ідентифікації завантаження. Показано, що ідентифікацію завантаження кульового млина рудою слід здійснювати на певній відстані від завантажувальної горловини технологічного агрегату. На рівень сигналу пружного первинного перетворювача впливає сумарний об'єм твердого, що руйнується, і міцність руди. Розмір частинок твердого на рівень сигналу не впливає.

The results of research of destruction are resulted hard in ball mills with the purpose of authentication of load. It is rotined that it is necessary to carry out authentication of load of ball mill ore on certain distance from the load mouth of technological aggregate. On the level of signal of resilient primary transformer a total volume influences hard, which collapses, and durability of ore. The size of particles of hard on a level signal does not influence.

Вступ. Бідні залізні руди, які збагачують, подрібнюють в основному в кульових млинах, що споживають майже 50 % всіх енергетичних витрат, велику кількість куль і футерівки. Тому розв'язання проблеми зменшення енергетичних і матеріальних витрат спрямовані на реалізацію Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженої Законом України «Про основи

державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», по напрямку 5.3.1 «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва». Частинною задачею в реалізації цього напрямку є науково-дослідна робота «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди (0109U007939), яка є складовою частиною тематичного плану Кіровоградського національного технічного університету.

Кульові млини першої стадії подрібнення працюють найбільш напружено. В [1] сказано, що оптимальну продуктивність подрібнюючого агрегату, при якій забезпечується максимальний вихід готового продукту, можливо отримати лише при певному завантаженні кульового млина рудою. Оскільки відомі засоби непрямого контролю даного параметра не відповідають вимогам технологічного процесу [2], проблему автоматичної оптимізації рудопідготовки доцільно розв'язувати пошуком і обґрунтуванням параметрів, що піддаються автоматичному контролю, які безпосередньо характеризують енергетичну ефективність процесу руйнування матеріалу в барабані млина. В роботах [3, 4] обґрунтовано такий підхід визначення завантаження кульового млина рудою, однак ефективність руйнування твердого вздовж барабана, вплив руйнування на отримувану інформацію і можливість її використання при управлінні процесом подрібнення матеріалу ніхто не досліджував. Тому тема статті є актуальною.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження руйнування твердого в кульових млинах з метою ідентифікації завантаження. Поставлена мета досягається в результаті теоретичного дослідження взаємодії твердого і кулі в умовах максимального завантаження матеріалу, визначення відмінностей процесу вздовж барабана та знаходження і аналізу характеристик руйнування руди при математичному моделюванні.

Результати. В роботі [3] показано, що об'єм зруйнованої руди падаючою з незмінної висоти кулею можна ідентифікувати за допомогою пружного перетворювача з використанням залежності

$$x = \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ch) - 2ckk_1V_p}}{c}, \quad (1)$$

де x – найбільше відхилення центра перетворювача від стану спокою; c – ко-

ефіцієнт жорсткості пружного перетворювача; m – маса кулі; g – сила земного тяжіння; h – висота, з якої падає куля; k – коефіцієнт пропорціональності, що залежить від міцності матеріалу; k_l – стала, що характеризує зв'язок між загальним і деформованим об'ємом шматка матеріалу; V_p – об'єм шматка матеріалу.

Ідентифікацію об'єму руди можливо також здійснити і по різниці величини відхилення центра перетворювача без руди і з рудою, що руйнується.

По залежності (1) можливо визначати об'єм не лише одного, а і кількох шматків руди. При падінні кулі в зоні руйнування одночасно може в певних ситуаціях знаходитись один, два, три, чотири і т.д. шматків руди. Вимірювальні особливості даного підходу можливо охарактеризувати співвідношенням об'ємів зруйнованої руди V_{PP} і руди, V_{PT} , що знаходиться під тиском падаючої кулі. Як показав аналіз, це співвідношення дорівнює

$$V_d = \frac{V_{PP}}{V_{PT}} = \frac{3R_K - d_p}{3(2R_K - d_p)}. \quad (2)$$

Залежності зміни співвідношення об'ємів V_d від розміру кулі і шматків руди приведені в таблиці. За базові значення співвідношення об'ємів V_d приймалися попередні значення в ряді.

З даних таблиці видно, що відношення V_{PP}/V_{PT} змінюється порівняно в нешироких межах – від 0,507 до 0,661.

При ідентифікації об'єму руди зміна співвідношення V_{PP}/V_{PT} буде приводити до похибки.

Як видно з даних таблиці, найкращі умови ідентифікації об'єму руди складаються при подрібненні дрібного матеріалу кулями порівняно великих розмірів.

Наприклад, при руйнуванні матеріалу від 4 до 8 мм кулями з $R_K = 50$ мм відхилення об'єму зруйнованого твердого при повному завантаженні складе всього 1,38 %.

Оскільки максимальне завантаження – це теоретичне поняття, на практиці воно буде набагато меншим і похибка буде значно меншою, якою можливо знехтувати.

Тому ідентифікацію завантаження кульового млина рудою необхідно здійснювати на певній відстані від завантажувальної горловини технологіч-

ного агрегату, оскільки по мірі віддалення від неї крупність частинок зменшується, а діаметр куль збільшується.

Таблиця

Зв'язок об'єму зруйнованого матеріалу з об'ємом твердого, що знаходиться під тиском падаючої кулі, при різних розмірах молоткових тіл і шматків руди

Параметри	Розмір шматків руди, мм					
	4	8	12	16	20	24
$R_K = 30$ мм						
V_d	0,5120	0,5256	0,5417	0,5606	0,5830	0,6110
$\Delta V_d, \%$	0	2,66	3,06	3,49	4,00	4,80
$R_K = 40$ мм						
V_d	0,5088	0,5185	0,5294	0,5417	0,5556	0,5714
$\Delta V_d, \%$	0	1,91	2,10	2,32	2,56	2,85
$R_K = 50$ мм						
V_d	0,507	0,514	0,523	0,532	0,542	0,553
$\Delta V_d, \%$	0	1,38	1,751	1,721	1,918	2,03

Залежність прогину центральної частини перетворювача від об'єму руди, що руйнується, досліджувалася при падінні кулі з висоти 1 м і матеріалі крупністю 5, 10, 15 і 20 мм.

Залежність сигналів перетворювача від об'єму руди, що руйнується, при різних крупностях показана на рисунку. В досліді розглядалося руйнування частинок кожної крупності від однієї до максимальної кількості.

Як видно з рисунка, прогин перетворювача не залежить від розміру частинок твердого, а залежить від сумарного його об'єму.

При зростанні сумарного об'єму твердого в зоні руйнування сигнал перетворювача зменшується.

Залежність прогину перетворювача від об'єму твердого, що руйнується, нелінійна (рисунок).

В діапазоні зміни об'єму від 0 до $\frac{2}{3}$ найбільшого значення залежність практично лінійна.

При визначенні різниці прогинів перетворювачів діапазон зміни сигналу однаковий, але лінійність залежності дещо краща (рисунок).

Тут при зростанні об'єму твердого, що руйнується, прогин зростає.

Прямолінійність початкової ділянки залежності при малих значеннях об'єму твердого вказує на необхідність ідентифікації завантаження млина рудою не в початковій зоні, а на певній відстані від завантажувальної горло-

ВИНИ.

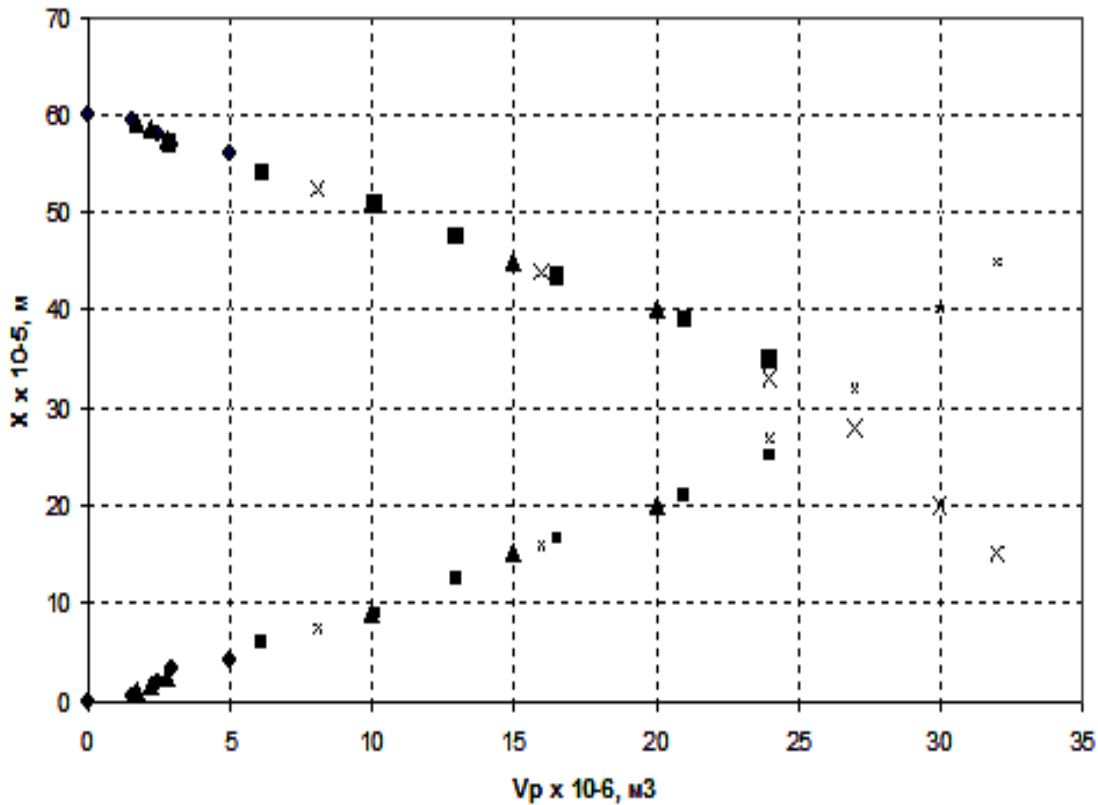


Рисунок – Залежність сигналів пружного перетворювача від об'єму руди, що руйнується, при різних крупностях твердого:
1 – абсолютне відхилення; 2 – різниця відхилень:
• – 5 мм; ▲ – 10 мм; ■ – 15 мм; x – 20 мм.

Відповідно рівнянню кінетики подрібнення руди в певному поперечному перерізі барабана млина будуть повторюватися ті ж закономірності, лише це буде відбуватися на більш дрібному матеріалі.

Залежності (рисунок) побудовані в широкому діапазоні зміни крупності і об'єму твердого. В реальних умовах роботи кульового млина крупність верхніх класів і об'єм крупного твердого змінюється порівняно в нешироких межах. На вихідний сигнал перетворювача не впливає крупність і впливає міцність руди.

Як видно з розглянутого, завантаження кульового млина доцільніше ідентифікувати на певній відстані від завантажувальної горловини, використовуючи різницю сигналів ідентичних за параметрами незавантаженого і завантаженого рудою перетворювача.

Нереагування перетворювача на розмір частинок твердого не є його недоліком.

Якщо роботу кульового млина налагодити на найменшу середньозважену крупність матеріалу в контрольованому перерізі при найменшій міцності твердого, тобто за цих умов забезпечити найбільшу можливу концентрацію крупного твердого, то при збільшенні крупності руди сигнал перетворювача зросте.

Одночасно це буде свідчити про перевантаження.

Зменшивши сигнал перетворювача до попереднього значення, ліквідуємо тенденцію до створення перевантаження.

Якщо в номінальному стані зросте міцність руди, то також створяться умови для виникнення перевантаження.

Однак при цьому одночасно зросте і сигнал перетворювача.

Зменшивши сигнал перетворювача до номінального значення, ліквідуємо загрозу виникнення перевантаження.

Висновки.

Найкращі умови ідентифікації об'єму руди складаються при подрібненні дрібного матеріалу кулями більш великих розмірів, що відповідає умовам контролю на певній відстані від завантажувальної горловини млина.

На рівень сигналу перетворювача впливає сумарний об'єм і міцність твердого, і не впливає розмір частинок, однак це не виступає перепорою, а, навпаки, сприяє організації керування завантаженням кульового млина рудою.

Перспективою подальших розробок в даному напрямі є створення промислового пристрою ідентифікації завантаження кульового млина рудою з використанням показників енергетичної ефективності руйнування матеріалу.

Список літератури: 1. *Бонч-Бруевич А.М.* Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем / *А.М. Бонч-Бруевич, В.Л. Быков, П.И. Чинаев.* – М.: Машиностроение, 1967. – 292 с. 2. *Пивняк Г.Г.* Измельчение. Энергетика и технология: учебное пособие для вузов / [Г.Г. Пивняк, Л.А. Вайсберг, В.И. Кириченко и др.]. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2007. – 296 с. 3. *Кондратець В.О.* Теоретичне дослідження системи з падаючим тілом при ідентифікації зразків твердого / *В.О. Кондратець, М.О. Карчевська* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2010. – № 40. – Ч. 1. – С. 142 – 150. 4. Патент на корисну модель № 45414 Україна, МПК В02С 25/00. Спосіб ідентифікації завантаження кульового млина рудою / *Кондратець В.О., Карчевська М.О.*; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. ун-т. – № у 200905505; заявл. 01.05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

Н.Ф. КОСЕНКО, канд. хим. наук, доц.;
М.А. СМЕРНОВА, канд. хим. наук, доц.;
ГОУВПО "ИГХТУ", г. Иваново, Россия

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СВОЙСТВА ЗОЛЬНО-ИЗВЕСТКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Розроблений склад зольно-вапняного в'язучого, обробленого механохімічно в присутності алкіліденофосфонових кислот, та вивчені його фізико-механчні властивості. Дане модифікування дозволяє частково замінити вапно більш дешевим вапняком, а також суттєво підвищити міцність матеріалу (в 1,5 – 2 рази) і його морозостійкість (в 1,5 рази).

The composition of the ashes-calcareous cement with the mechanochemical treatment in the presence of alkylidenephosphonic acids has been suggested. Its physical-mechanical properties have been studied. Such modification allows partially to replace the lime by the more inexpensive limestone and also to increase the material strength by a factor of 1.5 – 2.0 and its frost-resistance by a factor of 1.5.

Введение. Количество зол уноса и золошлаковых смесей, получаемых при сгорании в котлоагрегатах тепловых электростанций различных видов топлива (бурого и каменного угля, торфа, горючих сланцев), непрерывно возрастает, а объем утилизируемых в различных производствах отходов является небольшим. По этой причине проблема использования техногенных продуктов данного вида остается актуальной. Вяжущие на основе зол ТЭС различного состава могут быть использованы для укрепления грунтов, для устройства оснований и морозозащитных слоев дорожной одежды, а также в качестве самостоятельного строительного материала. Вместе с тем золы часто имеют низкое содержание активного оксида кальция, способствующего твердению и набору прочности материала, что приводит к необходимости вводить CaO дополнительно в виде извести, цемента и др. Например, для получения вяжущего марки 200 соотношение между золой уноса и известью должно примерно составлять 70 : 30 [1]. Для повышения активности зол применяют различные виды химических активаторов: гашеную и негашеную известь [2 – 6 и др.], жидкое стекло [7 и др.], смеси гашеной извести и силиката натрия [8]; пыль вращающихся печей [9] и т.п.

Неоднократно предпринимались попытки заменить искусственно получаемые активаторы твердения побочными продуктами других производств.

Так, например, разработана смесь для устройства конструкционно-теплоизоляционного слоя дорожной одежды и оснований под покрытия автомобильных дорог, содержащая продукт совместного мокрого помола нефелинового шлама и буроугольного золошлакового отхода гидроудаления [10]. Однако нефелиновый шлам применим для укрепления крупнообломочных грунтов, песков и гравийно-песчаных смесей, не содержащих глинистых, илистых и тонкодисперсных компонентов; кроме того, транспортировать на большие расстояния его экономически нецелесообразно, т.е. можно использовать только как местный материал.

Ранее нами была изучена возможность использования золошлаковых смесей в дорожном строительстве, в частности для устройства дорожных оснований [11]. Однако требования к смесям для этих целей существенно ниже, чем к вяжущим, находящим применение в качестве самостоятельного материала.

Нами была поставлена задача разработать состав вяжущего на основе золы уноса с пониженным содержанием извести с одновременным улучшением его физико-механических характеристик.

Экспериментальная часть. В работе использован материал совместного гидрозолоудаления, при котором зола-унос и шлак гидравлически удаляют в золоотвалы. В качестве активирующего щелочного компонента была выбрана воздушная кальциевая известь Ивановского завода силикатного кирпича с активностью не менее 60 %. Использовали также добавки – различные алкилиденфосфоновые кислоты: нитрилотриметиленфосфоновую кислоту (НТФ) по ТУ 6-49-19-80, иминодиметиленфосфоновую кислоту (ИДФ) и метилиминодиметиленфосфоновую кислоту (МИДФ) [12,13].

Подготовленные смеси совместно подвергали механохимической обработке в активаторе (шаровой, вибрационной, планетарной мельнице). К приготовленным смесям добавляли воду и перемешивали. Приготовленные массы выдерживали в закрытом сосуде в течение 4 – 5 ч, а затем формовали образцы-цилиндры на прессе под давлением 10 – 15 МПа. Время выдерживания формы со смесью под нагрузкой составляло 3 мин. Образцы, изготовленные из различных смесей, хранили во влажных условиях в течение 90 сут.

Прочность устанавливали путем сжатия на прессе образцов в водонасыщенном состоянии.

Использованные методики соответствуют действующим Ведомственным строительным нормам ВСН 185-75.

Обсуждение результатов. Известно, что золошлаковые смеси (ЗШС) весьма разнородны по своему химическому и гранулометрическому составу и другим свойствам, что затрудняет их использование. Однако проведенные анализы химического состава (табл. 1) и гранулометрии различных проб (табл. 2) показали хорошую воспроизводимость.

Основу ЗШС составляли тонкие фракции (менее 0,10 мм) (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав ЗШС, масс. %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	п.п.п.
46,1	12,0	11,0	1,5	17,4	1,3	0,2	10,5

Таблица 2

Гранулометрический состав ЗШС

Класс крупности, мм	Более 1,6	1,0-1,6	0,63-1,0	0,315-0,63	0,16-0,315	0,071-0,16	0,036-0,071	До 0,036
Содержание фракции, масс. %	0,55	0,36	0,90	3,63	14,46	12,33	22,17	45,60

Известно, что при механохимической обработке известняк частично декарбонизируется [14,15], образуя известь. Положительное воздействие механоактивация оказывает и на золу [16 – 21]. Однако длительность такого воздействия и энергонапряженность активаторов должны быть достаточно высокими. Применение специально подобранных добавок способствует повышению эффективности механического активирования.

Микросферы золы представляют собой спекшиеся стекловидные алюмосиликатные правильные сферические образования с гладкой поверхностью (рисунок, а). После обработки в мельнице такие золосферы разбиваются на части, образуя неровный рельеф (рисунок, б).

Механически активированные частицы вступают во взаимодействие с известью, проявляя пуццоланические свойства. Алкилиденфосфоновые кислоты выполняют функцию ПАВ, препятствуя агрегированию частиц.

Комбинированное механическое и химическое активирование позволило заменить часть извести известняком, не только не ухудшив, но даже и повысив физико-механические характеристики комбинированного вяжущего (табл. 3).

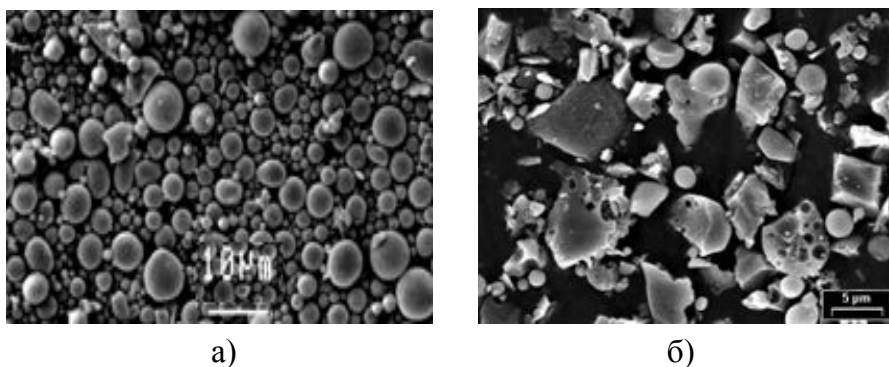


Рисунок – Частицы золы до (а) и после (б) механической активации в планетарной мельнице в течение 5 мин

Таблица 3

Вид активатора, состав и прочность вяжущего

Вид мельницы (активатора)	Состав, мас. %				Предел прочности при сжатии, МПа	Морозостойкость, циклы
	зола	известь	известняк	алкилиден-фосфоновая кислота		
Планетарная	92	3	4,97	0,03 (ИДФ)	20,3	26
Вибрационная	87	6	6,94	0,06 (НТФ)	24,3	28
Шаровая	82	9	8,91	0,09 (МИДФ)	18,9	25
–	70	30	–	–	12,4	17

Оптимальное соотношение между компонентами составило:

зола-унос	$82,0 \div 92,0$;
известь	$3,0 \div 9,0$;
известняк	$4,97 \div 8,91$;
алкилиденфосфоновая кислота	$0,03 \div 0,09$.

Состав данного вяжущего защищен патентом [22].

Рентгенофазовый анализ показал, что твердение зольноизвесткового вяжущего является результатом взаимодействия извести с кремнеземистыми и глиноземистыми минералами золы и карбонизации образующихся гидросиликатов (CSH-фаза) и гидроалюминатов кальция.

Все исходные материалы и формирующиеся новообразования не содержат экологически опасных компонентов, а также веществ, которые при контакте с воздухом, атмосферными осадками или грунтовыми водами образовывали бы вредные соединения.

Выводы.

Разработан состав зольно-известкового вяжущего, обработанного механохимически в присутствии алкилиденфосфоновых кислот, и изучены его физико-механические свойства.

Данное модифицирование позволяет частично заменить известь более дешевым известняком, а также существенно повысить прочность материала (в 1,5 – 2 раза) и его морозостойкость (в 1,5 раза).

Список литературы: 1. Материалы и изделия для строительства дорог / под ред. Н.В. Горельшева. – М.: Транспорт, 1986. – 288 с. 2. Shi C. Pozzolan reaction in the presence of chemical activators / C. Shi, R.L. Day // Cem. and Concr. Res. – 2000. – Vol. 30, № 1. – P. 51 – 58. 3. Li D. The influence of temperature and admixtures on activation of low calcium fly ash / [D. Li et al.] // J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed. – 2000. – Vol. 15, № 3. – P. 13 – 18. 4. Basumajumdar A. Some studies on the reaction between fly ash and lime / [A. Basumajumdar et al.] // Bull. Mater. Sci. – 2005. – Vol. 28, № 2. – P. 131 – 136. 5. Qiao X.C. Comparative studies of three methods for activating rejected fly ash / [X.C. Qiao et al.] // Adv. Cem. Res. – 2006. – Vol. 18, № 4. – P. 165 – 170. 6. Antiohos S. Activation of fly ash cementitious systems in the presence of quicklime / S. Antiohos, A. Papageorgiou, S. Tsimas // Cem. and Concr. Res. – 2006. – Vol. 36, № 12. – P. 2123 – 2131. 7. Карнаухов Ю.П. Вяжущее на основе отвалной золошлаковой смеси и жидкого стекла из микрокремнезема / Ю.П. Карнаухов, В.В. Шарова, Е.Н. Подвольская // Строит. матер. – 1998. – № 5. – С. 12 – 13. 8. Fan Y. Activation of fly ash and its effects on cement properties / [Y.Fan et al.] // Cem. and Concr. Res. – 1999. – Vol. 29, № 2. – P. 467 – 472. 9. Buchwald A. Alkali-activated binders by use of industrial by-products / A. Buchwald, M. Schulz // Cem. and Concr. Res. – 2005. – Vol. 35, № 5. – P. 968 – 973. 10. А.с. 1516479 СССР. Сырьевая смесь для устройства конструкционно-теплоизоляционного слоя дорожной одежды / [Голубятников И.И. и др.]; опубл. 24.12.88, Бюл. № 39. 11. Косенко Н.Ф. Золошлаковые смеси как компонент вяжущей композиции для дорожного строительства / Н.Ф.Косенко, В.В. Макаров // Экология и промышленность России. – 2008. – № 4. – С. 44 – 45. 12. Дятлова Н.М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н.М. Дятлова, В.Я. Тёмкина, И.Д. Колпакова. – М.: Химия, 1970. – 417 с. 13. Дятлова Н.М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н.М. Дятлова, В.Я. Тёмкина, К.И. Попов. – М.: Химия, 1988. – 544 с. 14. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Аввакумов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 305 с. 15. Хайнике Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 584 с. 16. Аксенов А.В. Композиционное вяжущее из отходов теплоэлектростанций и литейного производства / А.В.Аксенов // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1999. – № 12. – С. 70. 17. Нудельман А.Б. Технология активирования золы / А.Б. Нудельман // II-е Межд. совещ. по химии и технологии цемента. – М., 2000. – С. 269 – 273. 18. Arjuan P. Chemical activation of low calcium fly ash: identification of the most appropriate chemical activators and their dosage / P. Arjuan, M.R. Silsbee, D. M.Roy // 101st Annual Meeting and Exposition "Setting the Pace for the Next Century", Indianapolis, Indiana, 1999. – P. 332. 19. Проконец В.С. Влияние механоактивационного воздействия на активность вяжущих веществ / В.С. Проконец // Строит. матер. – 2003. – № 9. – С. 28 – 29. 20. Бедрин Е.А. Механоактивированное золоцементное вяжущее для укрепления грунтов / Е.А. Бедрин // Омск. науч. вестн. – 2003. – № 4. – С. 100 – 103. 21. Kumar S. Influence of reactivity of fly ash on geopolymerisation / [Kumar S. et al.] // Adv. Appl. Ceram.: Struct., Funct. and Bioceram. – 2007. – Vol. 106, № 3. – P. 120 – 127. 22. Пат. 2312084 Российская Федерация. Вяжущее / Н.Ф. Косенко, В.В. Макаров; опубл. 10.12.07, Бюл. № 34.

Р.Н. ШЕВЦОВ, канд. тех. наук, ген. директор, **И.Д. РЯБОВ**, инженер,
ОАО "Великоанадольский огнеупорный комбинат", п. Владимировка;
Ю.А. ОНАСЕНКО, аспирант,
Л.Д. ПИЛИПЧАТИН, канд. тех. наук, доц.,
НМетАУ, г. Днепропетровск, Украина

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА НИЗКОЦЕМЕНТНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ

Вивчено вплив зернового складу шамотного заповнювача на показники властивостей низькоцементних вогнетривких бетонів в інтервалі температур 350 – 1300 °С та оптимізований вміст зерен фракції 6 – 3 мм і 3 – 0 мм. Виготовлено дослідну партію низькоцементних вогнетривких бетонних виробів оптимального складу і проведені їх випробування у різних теплових агрегатах.

Experimental researches have been conducted to study the influence of granularity fireclay aggregate on the properties low – cement refractory concrete in interval of the temperature 350 – 1300 °C and was optimized contents aggregate fractions 6 – 3 mm and 3 – 0 mm. Organized test concrete product made with use of the optimum the composition aggregate organized their test in different heat unit

Постановка проблемы и анализ последних исследований. Способом направленного регулирования структуры низкоцементного огнеупорного бетона (НЦОБ) является моделирование зернового состава полидисперсной смеси с целью получения предельно плотной упаковки зерен. Оптимальное соотношение зерен различных фракций обеспечивает виброреологические характеристики бетонных масс, способствующих созданию низкопористой и прочной структуры бетона как в процессе формования, так и под воздействием тепловой обработки [1, 2]. При подборе зернового состава бетонных смесей используют кривые распределения Фурнаса, Фуллера, Андреасена и Болломе, с помощью которых устанавливают оптимальное содержание зерен различных фракций для масс непрерывного зернового состава [2, 3].

Существующие в огнеупорном производстве методы разделения порошков не позволяют осуществлять расфракционирование материалов на узкие фракции для последующей их дозировки, смешения и получения полидисперсной смеси с заданным соотношением фракций. Учитывая это, подбор зернового состава низкоцементных бетонных смесей в соответствии с рекомендуемыми аналитическими зависимостями не является целесообразным в

условиях массового производства. По этой причине оптимизацию зернового состава бетона проводят с использованием методов математического планирования эксперимента в области зерновых составов ограниченных зернами крупной, средней и мелкой фракций [4 – 6].

Таким образом, для решения практических задач оптимизация зернового состава низкоцементных огнеупорных бетонов в условиях производства, при имеющемся распределении узких фракций, минеральных частиц внутри крупно-, среднезернистой составляющих смеси, является актуальным.

Анализ вещественных составов бетонов с алюмосиликатным заполнителем на химических связках или гидравлическом вяжущем показал, что содержание тонкодисперсного компонента фракции менее 0,088 мм находится в пределах 29 – 32 % [3]. При этом зерновой состав алюмосиликатных заполнителей с различным предельным размером зерна варьируется в широких пределах, обеспечивающих требуемую плотность укладки зерен. Это определяет возможность подбора рационального зернового состава бетонной смеси путем оптимизации соотношения крупной и средней фракций заполнителя.

Постановка задачи. Целью данной работы явилось исследование влияния изменения соотношения зерен крупной и средней фракций заполнителя на свойства низкоцементных шамотных бетонов в интервале температур 350 – 1300 °С.

Экспериментальная часть. Для проведения исследований в качестве сырьевых материалов использовали шамот из каолинов Владимирского месторождения с водопоглощением 4,8 % и предельным размером зерен 6 мм, высокоглиноземистый цемент "Gorkal-70" (ВГЦ), микрокремнезем (МК) марки FCBC (Польша), в качестве дефлокулирующей добавки использовали триполифосфат натрия (ТПФН) в количестве 0,15 % (сверх 100 %). Химический состав сырьевых материалов приведен в таблице.

Таблица

Химический состав сырьевых материалов, %

Наименование материалов	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	R ₂ O	C
Шамот	36	59,97	0,61	–	1,15	0,47	–	0,78	–
МК	0,17	95,58	0,59	0,12	0,01	0,38	0,01	0,67	2,47
ВГЦ	70,82	0,32	28,00	0,96	–	–	–	–	–

При проведении исследований варьировали содержание заполните-

ля – шамота крупной фракции 6 – 3 мм и средней фракции 3 – 0 мм в пределах 10 – 50 % с интервалом варьирования 10 %. Содержание тонкодисперсного заполнителя фр. < 0,088 мм, ВГЦ и МК было постоянным и составляло 30 %, 5 % и 5 % соответственно. Приготовление бетонных масс влажностью 8,5 – 9,0 % осуществляли в смесителе планетарного типа. Образцы – кубы с размером ребра 40 мм формовали в разборные металлические формы при частоте вибрации 50 Гц. После выдержки образцов на воздухе в течение суток образцы термообрабатывали при температуре 350 °С, и затем обжигались при температурах 750 °С, 1050 °С и 1300 °С с выдержкой 3 часа. Определение кажущейся плотности, открытой пористости, предела прочности при сжатии образцов проводили в соответствии со стандартными методиками.

Результаты и их обсуждение. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке. Анализ полученных данных показал, что кажущаяся плотность (рисунок, а) и открытая пористость (рисунок, б) образцов термообработанных при температуре 350 °С в зависимости от содержания заполнителя фр. 6 – 3 мм и 3 – 0 мм изменяются незначительно и находятся в пределах 2,15 – 2,18 г/см³ и 18,9 – 19,1 % соответственно. Изменение соотношения фр. 6 – 3 мм и 3 – 0 мм в зерновом составе заполнителя оказывает более существенное влияние на значение предела прочности при сжатии образцов (рисунок, в). Так, при увеличении содержания фр. 6 – 3 мм до 20 % предел прочности при сжатии снижается с 49,9 Н/мм² до 45,1 Н/мм², при содержании фр. 6 – 3 мм 30 % и 40 % механическая прочность увеличивается незначительно – на 4,1 – 2,4 Н/мм². Минимальное значение механической прочности 40,8 Н/мм² имели образцы с содержанием фр. 6 – 3 мм – 50 % и фр. 3 – 0 мм – 10 %. При повышении температуры обжига от 750 °С до 1300 °С наблюдается общая тенденция увеличения кажущейся плотности и снижения открытой пористости образцов независимо от соотношения крупной и средней фракций в зерновом составе заполнителя. При температуре 750 °С изменение соотношения фр. 6 – 3 мм и 3 – 0 мм не оказывает влияния на изменение кажущейся плотности и открытой пористости образцов, и для всех исследуемых составов значения данных свойств находится в пределах 2,13 – 2,15 г/см³ и 19,9 – 19,5 % соответственно. Зависимость предела прочности при сжатии от температуры обжига для различных составов носит неоднозначный характер. С увеличением температуры с 750 °С до 1300 °С при соотношении фр. 6 – 3 мм и 3 – 0 мм 1 : 2 и 1 : 1 наблюдается повышение механической прочности от 48,6 – 46,9 Н/мм² до 63,1 – 58,3 Н/мм².

Предел прочности при сжатии при содержании крупной фракции – 10 % в интервале температур 750 – 1300 °С практически не изменяется и находится в пределах 53,9 – 52,0 Н/мм².

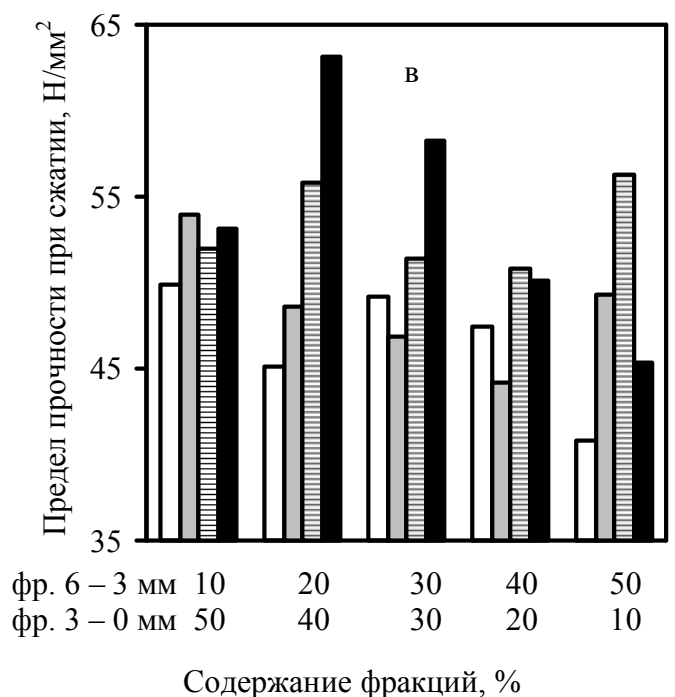
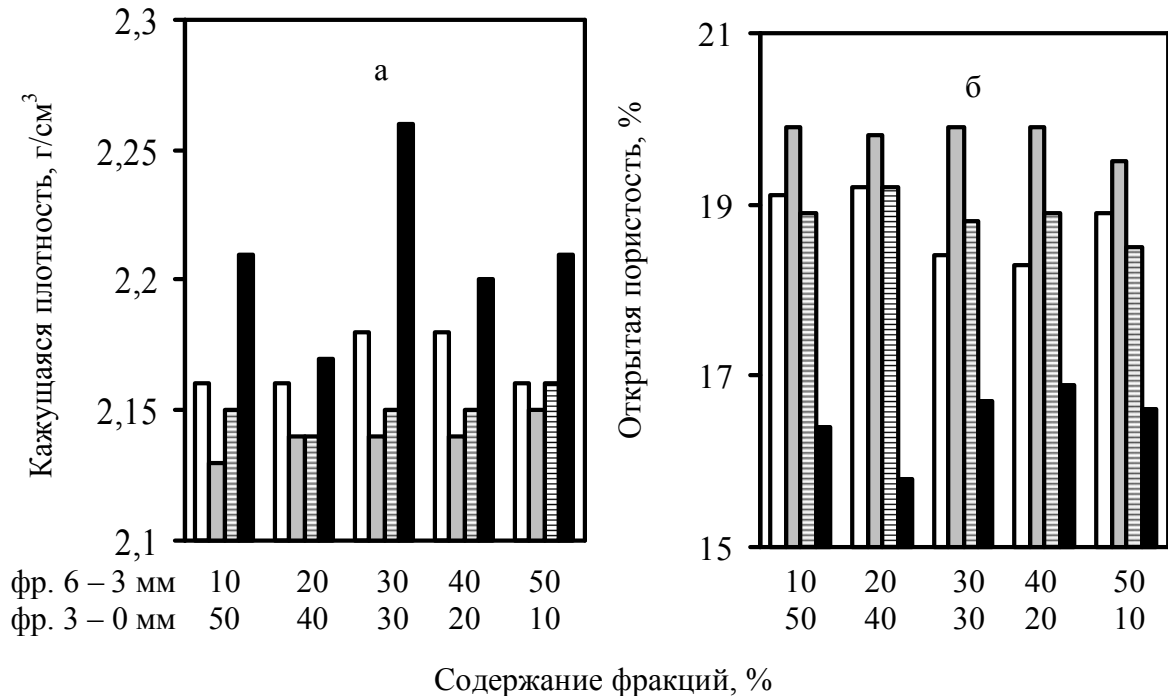


Рисунок – Влияние зернового состава заполнителя на свойства бетонных образцов:

□ – 350 °С; ▒ – 750 °С; ▨ – 1050 °С; ■ – 1300 °С.

Максимальное упрочнение 50,8 – 56,3 Н/мм² при температуре 1050 °С характерно для бетонных образцов с соотношением заполнителя фр. 6 – 3 мм и 3 – 0 мм 2 : 1 и 5:1, а повышение температуры обжига до 1300 °С, приводит к снижению предела прочности при сжатии до 50,1 – 45,4 Н/мм².

При температуре обжига – 1300 °С кажущаяся плотность образцов всех исследуемых составов достигает максимальных значений, а эффективное сочетание высокой механической прочности (63,1 Н/мм²) и минимальной открытой пористости (15,8 %) обеспечивается соотношением фр. 6 – 3 мм: фр. 3 – 0 мм = 1 : 2. С точки зрения достижения максимального упрочнения бетона и его минимальной пористости, в исследуемом температурном интервале, выбран следующий зерновой состав заполнителя: 20 % – фр. 6 – 3 мм, 40 % – фр. 3 – 0 мм и 30 % фр. < 0,088 мм. Из масс оптимального состава на ОАО "Великоанадольский огнеупорный комбинат" изготовлена опытная партия низкоцементных бетонных изделий для различных элементов тепловых агрегатов. По результатам проведенных испытаний опытных изделий установлены высокие эксплуатационные свойства бетона.

Выводы. В результате проведенных исследований установлен оптимальный зерновой состав заполнителя в низкоцементном шамотном огнеупорном бетоне, оказывающий положительное влияние на уплотнение и упрочнение бетона в интервале температур 750 – 1300 °С, и обеспечивающий повышение эксплуатационного ресурса изготовленных бетонных изделий в футеровках тепловых агрегатов различного назначения.

Список литературы: 1. *Кащеев И.Д.* Неформованные огнеупоры: справоч. изд. в 2 т. / *И.Д. Кащеев, М.Г. Ладыгиче., В.Л. Гусовский.* – М.: Теплотехник, 2004. – Т. 2: Свойства и применение неформованных огнеупоров. – 2004. – 440 с. 2. *Пивинский Ю.Е.* Неформованные огнеупоры: справоч. изд. в 2 т. Т.1. Книга 1. Общие вопросы технологии / *Ю.Е. Пивинский.* – М.: Теплоэнергетик, 2004. – 448 с. 3. *Семченко Г.Д.* Неформованные огнеупоры: учеб. пособие / *Г.Д. Семченко.* – Х.: НТУ "ХПИ", 2007. – 304с. 4. *Вакуленко И.А.* Влияние технологических параметров на свойства корундовых низкоцементных бетонов / [*И.А. Вакуленко, В.В. Песчанская, Н.В. Шебанова и др.*] // Вісник НТУ "ХПИ". – 2006. – № 30. – С. 63 – 67. 5. *Вернигора Н.К.* Анализ фракционного состава огнеупорных бетонов на шамотном заполнителе / [*Н.К. Вернигора, С.М. Логвинков, Г.Н. Шабанова и др.*] // Зб. наук. праць ВАТ "УкрНДІВ ім. А.С.Бережного". – Х.: Каравела, 2006. – № 106. – С. 71 – 77. 6. *Бражник Д.А.* Оптимизация гранулометрического состава низкоцементных периклазосодержащих неформованных масс / [*Д.А. Бражник, Г.Д. Семченко, А.А. Бондаренко и др.*] // Зб. наук. праць ВАТ "УкрНДІВ ім. А.С.Бережного". – Х.: Каравела, 2009. – № 109. – С. 86 – 89.

Поступила в редколлегию 20.06.10

О.В. БЕРЕЗЮК, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, м. Вінниця

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Запропоновані аналітичні залежності основних кінематичних і геометричних параметрів облаштування для сортування пружних складових твердих побутових відходів. Отримані раціональні значення основних кінематичних і геометричних параметрів облаштування для сортування пружних складових твердих побутових відходів.

Offered analytical dependencies main cinematic and geometric parameters of device for sorting springy forming hard domestic waste. Received rational importances main cinematic and geometric parameters of device for sorting springy forming hard domestic waste.

Постановка проблеми. Статистика свідчить, що об'єм твердих побутових відходів (ТПВ), що утворюються в Україні перевищує 46 млн. м³/рік [1]. Одним із перспективних шляхів поводження з ТПВ є їх переробка, яка поки що не знайшла широкого використання в нашій країні, на відміну від економічно розвинутих країн, де перероблюється до 42 % відходів [2]. При нероздільному збиранні ТПВ їхні компоненти, як правило, не сортуються перед переробкою. Сортування складових ТПВ дозволить заощаджувати сировинні ресурси, не збільшувати площу земельних ділянок під полігони та сміттєзвалища, а також сприятиме оздоровленню довкілля. Тому дослідження, спрямовані на удосконалення процесу сортування ТПВ, мають велике значення для комунального господарства і є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автором [3] розроблено пристрій для сортування пружних складових ТПВ, проведені дослідження процесу їх сортування, а також визначено раціональні значення параметрів сортувального пристрою: висоту падіння відходів – 1,1...1,2 м; кут нахилу металевої плити – 40°...50°; швидкість руху транспортера – 0,1...0,2 м/с. Недоліком даного пристрою є те, що він дозволяє лише відсортовувати пружні складові ТПВ від пластичних. В свою чергу, пружні складові ТПВ такі, як деревина, метали, кістки, скло тощо мають різні фізичні властивості, що дозволяє, на нашу думку, сортувати пружні складові ТПВ на однорідні компоненти.

Мета досліджень. Метою роботи є отримання аналітичних залежностей та раціональних значень основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою для сортування пружних складових твердих побутових відходів із використанням багатосекційного контейнера на основі дослідження його кінематики.

Основна частина. Розрахункова схема сортування ТПВ показана на рис. 1. Відходи падають з висоти h_1 на похилу металеву плиту з початковою горизонтальною швидкістю v_0 транспортерної стрічки. Автором [3] встановлено, що значення координати центра ваги металевієї плити в залежності від висоти падіння відходів і швидкості транспортера істотно впливає на ефективність сортування і може бути розраховане за допомогою рівняння траєкторії падіння відходів на металеву плиту

$$x_1 = v_0 \sqrt{2h_1/g} . \quad (1)$$

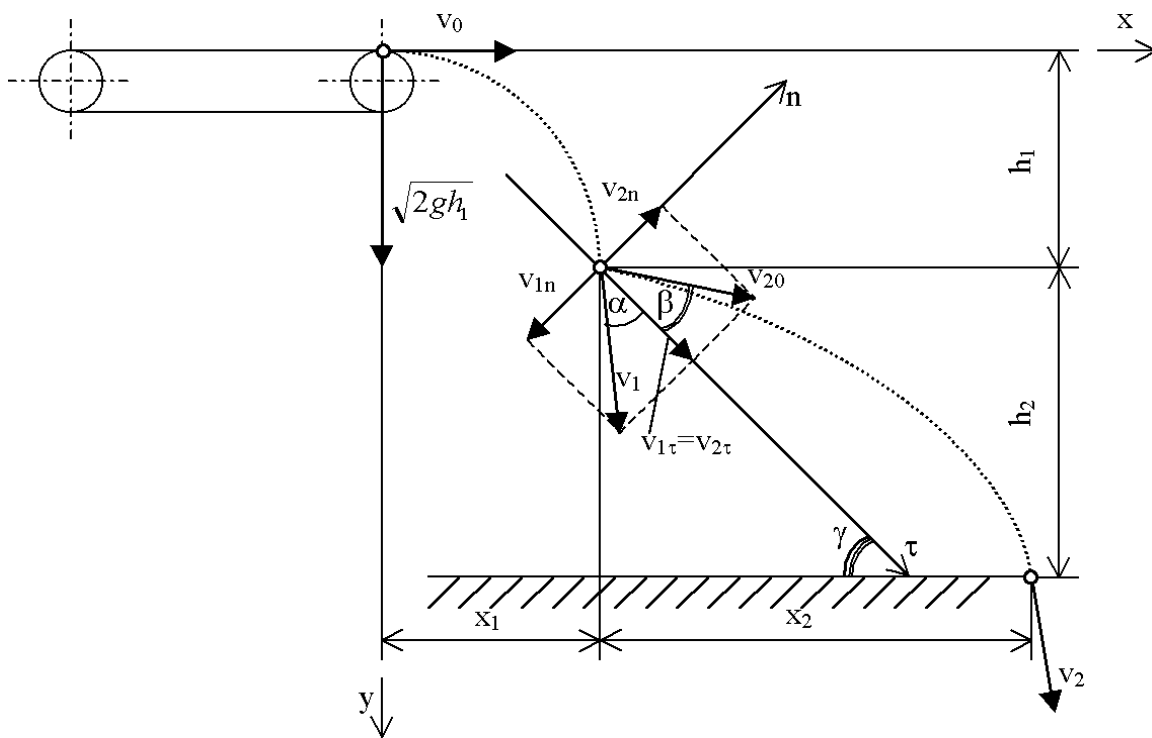


Рис. 1. Розрахункова схема сортування ТПВ

Як відомо, з ростом значення швидкості v_0 транспортера знижується ефективність сортування. Значення сили удару діючої з боку металевієї плити на пружні складові відходів, а також довжини відскоків ТПВ після зіткнення залежать від швидкості падіння пружних складових відходів.

В момент падіння на металеву плиту доударну швидкість відходів можна визначити за формулою

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2gh_1}. \quad (2)$$

Із розрахункової схеми сортування ТПВ (див. рис. 1) можна одержати такі рівняння:

$$\begin{cases} v_{1\tau} = v_1 \cos \alpha; \\ v_{1n} = v_1 \sin \alpha, \end{cases} \quad (3)$$

де $v_{1\tau}$ і v_{1n} – дотична і нормальна складові доударної швидкості, м/с; α – кут падіння ТПВ відносно плити, °.

Після удару об металеву плиту, пружні компоненти ТПВ відскакують від неї зі швидкістю, складові якої можна визначити з наступних рівнянь:

$$\begin{cases} v_{2\tau} = v_{1\tau} = v_1 \cos \alpha; \\ v_{2n} = kv_{1n} = kv_1 \sin \alpha, \end{cases} \quad (4)$$

де k – коефіцієнт відновлення.

Відомо, що коефіцієнт відновлення суттєво залежить від матеріалу тіл, які співударяються. На основі даних автора [4] значення коефіцієнтів відновлення для деяких пружних компонентів ТПВ наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів відновлення для деяких пружних компонентів ТПВ

Матеріал	дерево	метал	кістки	скло
Коефіцієнт відновлення, k	1/2	5/9	8/9	15/16

Кут падіння α та відскоку β ТПВ відносно плити можна визначити за формулами:

$$\alpha = \arctg \frac{\sqrt{2gh_1} - v_0 \operatorname{tg} \gamma}{v_0 + \sqrt{2gh_1} \operatorname{tg} \gamma}; \quad (5)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{k(\sqrt{2gh_1} - v_0 \operatorname{tg} \gamma)}{v_0 + \sqrt{2gh_1} \operatorname{tg} \gamma}, \quad (6)$$

де γ – кут нахилу металевої плити, $^\circ$.

Початкову швидкість відскоку пружних складових ТПВ можна знайти за допомогою виразу

$$v_{20} = \sqrt{k^2(v_0^2 + 2gh_1) - (1 - k^2)(v_0 \cos \gamma + \sqrt{2gh_1} \sin \gamma)^2}. \quad (7)$$

Після відскоку від металевої плити, пружні компоненти ТПВ рухаються зі швидкістю, складові якої можна визначити з наступних рівнянь:

$$\begin{cases} v_x = v_{20} \cos(\gamma - \beta); \\ v_y = v_{20} \sin(\gamma - \beta) + gt_2. \end{cases} \quad (8)$$

Після інтегрування рівнянь (8) координати пружних складових ТПВ після відскоку від металевої плити можуть бути описані системою рівнянь:

$$\begin{cases} x_2 = v_{20}t \cos(\gamma - \beta); \\ h_2 = v_{20}t \sin(\gamma - \beta) + \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (9)$$

Виключивши час t , визначимо швидкість пружних складових ТПВ в момент їх падіння в багатосекційний контейнер:

$$v_2 = \sqrt{v_{20}^2 + 2gx_2 \operatorname{tg}(\gamma - \beta) + \frac{g^2 x_2^2}{v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)}}. \quad (10)$$

Виключивши час t , визначимо рівняння траєкторії пружних складових ТПВ після відскоку від металевої плити

$$h_2 = x_2 \operatorname{tg}(\gamma - \beta) + \frac{gx_2^2}{2v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)}, \quad (11)$$

де x_2, h_2 – довжина та висота відскоку пружних складових ТПВ, м.

Звідки можна визначити довжину відскоку пружних складових ТПВ від металевої плити

$$x_2 = \frac{v_{20}^2 \sin[2(\gamma - \beta)]}{2g} \left(\sqrt{1 + \frac{2h_2g}{v_{20}^2 \sin^2(\gamma - \beta)}} - 1 \right). \quad (12)$$

Кут падіння δ пружних складових ТПВ у контейнер можна визначити за формулою

$$\delta = \arctg \left(\operatorname{tg}(\gamma - \beta) + \frac{gx_2}{v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)} \right). \quad (13)$$

Сумарна довжина відскоку пружних складових ТПВ складатиме

$$x = x_1 + x_2. \quad (14)$$

З аналізу виразів (6), (7), (12) випливає, що довжина відскоку пружних складових ТПВ залежить в основному від висот падіння (h_1, h_2), швидкості транспортера (v_0), кута нахилу металевої плити (γ), а також матеріалу пружних складових ТПВ (завдяки коефіцієнту відновлення (k)).

На рис. 2 показано траєкторії різних пружних складових ТПВ під час їх сортування.

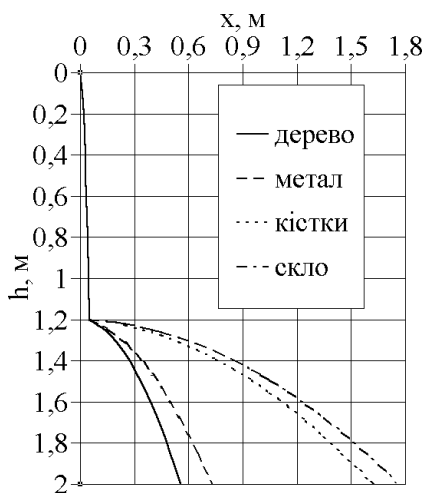


Рис. 2. Траєкторії різних пружних складових ТПВ під час їх сортування

В табл. 2 наведені кінематичні показники пристрою сортування, розраховані за допомогою ЕОМ із використанням вихідних даних: $v_0 = 0,1$ м/с; $\gamma = 45^\circ$; $h_1 = 1,2$ м; $h_2 = 0,8$ м для таких пружних складових ТПВ, як дерево, метал, кістки, скло.

Як видно із табл. 2, сумарні довжини відскоків пружних складових ТПВ суттєво залежать від їх матеріалу, що може бути використано для сортування

цих складових у багатосекційний контейнер, довжину секцій якого l_i можна визначити за формулами:

$$l_1 = x_{2,2} - x_{2,1} + h_3(ctg\delta_1 - ctg\delta_2); \quad (15)$$

$$l_i = \frac{x_{2,i+1} - x_{2,i-1} + h_3(ctg\delta_{i-1} - ctg\delta_{i+1})}{2}; \quad (16)$$

$$l_n = x_{2,n} - x_{2,n-1} + h_3(ctg\delta_{n-1} - ctg\delta_n), \quad (17)$$

де i – номер за порядком пружних складових ТПВ (див. табл. 2) $i > 1 \cup \cup i < n$; n – кількість видів пружних складових ТПВ; h_3 – висота багатосекційного контейнера.

Таблиця 2

Кінематичні показники пристрою сортування для різних пружних складових ТПВ

Номер за порядком	Матеріал	$\beta, ^\circ$	$v_{20}, \text{ м/с}$	$v_2, \text{ м/с}$	$x_2, \text{ м}$	$x, \text{ м}$	$\delta, ^\circ$
1	дерево	25,65	1,516	4,240	0,509	0,559	70,29
2	метал	28,08	2,036	4,453	0,678	0,728	64,05
3	кістки	40,49	4,230	5,794	1,567	1,617	43,30
4	скло	42,00	4,505	5,998	1,713	1,763	41,40

Багатосекційний контейнер повинен розташовуватись на такій відстані l_0 від вертикальної осі ведучого барабану стрічки верхнього транспортера

$$l_0 = x_1 + 1,5x_{2,1} - 0,5x_{2,2} - h_3ctg\delta_1. \quad (18)$$

Отримані залежності можуть бути використані під час проведення проектних розрахунків нових конструкцій пристроїв для сортування пружних складових ТПВ.

Геометричні розміри та положення багатосекційного контейнера під час сортування пружних складових ТПВ показано на рис. 3.

За даними, наведеними в табл. 2, величини, розраховані за залежностями (15) – (18), складають: $l_0 = 0,456$ м, $l_1 = 0,163$ м, $l_2 = 0,511$ м, $l_3 = 0,501$ м, $l_4 = 0,142$ м.

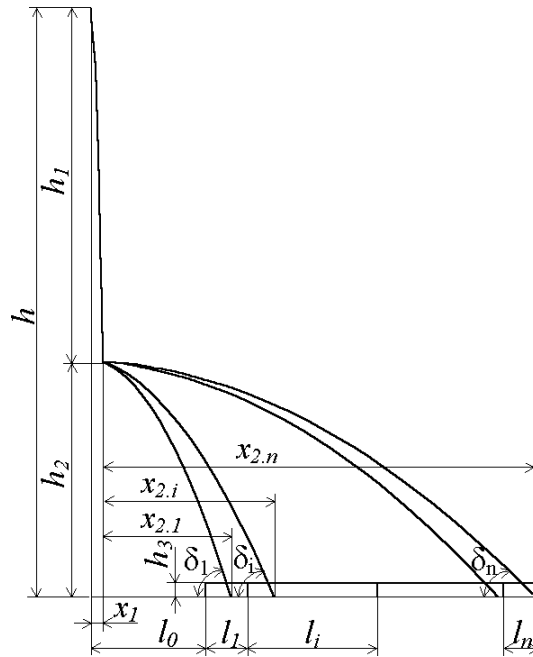


Рис. 3. Геометричні розміри та положення багатосекційного контейнера під час сортування пружних складових ТПВ

Висновки.

Запропоновано аналітичні залежності основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою для сортування пружних складових твердих побутових відходів у багатосекційний контейнер, що можуть бути використаними під час проведення проектних розрахунків його нових конструкцій.

Отримано раціональні значення основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою для сортування пружних складових твердих побутових відходів із використанням багатосекційного контейнера, які дозволяють забезпечити високі показники процесу сортування пружних складових твердих побутових відходів.

Список літератури: 1. Портал України з поводження з твердими побутовими відходами. – Режим доступу: <http://www.ukrwaste.com.ua>. 2. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами отходов / Т. А. Орлова // Містобудування та територіальне планування. – 2006. – Вип. 25. – С. 167 – 181. 3. Ханкелов Т. К. Разработка и обоснование рациональных параметров устройства для сортировки твердых бытовых отходов: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Т. К. Ханкелов. – Ташкент, 2006. – 24 с. 4. Кузмичёв В. Е. Законы и формулы физики / В. Е. Кузмичёв. – К.: Наук. думка, 1989. – 864 с.

Надійшла до редколегії 14.06.10

О.И. ЗЕЛЕНСКИЙ, научн. сотруд. , УХИН, г. Харьков

В.М. ШМАЛЬКО, канд. техн. наук, зам. директора, УХИН, г. Харьков

В.Б. ДИСТАНОВ, канд. хим. наук, доц., НТУ “ХПИ”, г. Харьков

О.А. КОПЕЙКО, ген. директор, ООО «Донецкхим-химический завод»

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КОКСОХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

У статті наводяться результати випробувань можливості застосування структурованих розчинників з використанням наномодифікаторів для виробництва водоемульсійних і пентафталевих лакофарбових покриттів. В якості наномодифікаторів застосовувалися суспензії вуглецевих наноструктур, отримані з відходів коксохімічного виробництва - коксового пилу, який уловлюється в установках безпилової видачі коксу.

The article presents the results testing the possibility of applying structured solvents using nanomodifiers for the production of water-based paints and pentaphthal. As nanomodifiers used suspensions of carbon nanostructures obtained from the waste by-product coke production – coke dust recovered from plants dust-free coke.

Введение. Значительный интерес научных и технических кругов к изучению способов получения, структуре и свойствам наноразмерных систем обусловлен многообразием и уникальностью вариантов их практического применения. Малый размер структурных составляющих – обычно до 100 нм – определяет отличие свойств наноматериалов от массивных аналогов [1].

Поскольку любое вещество состоит из дискретных единиц, называемых атомами, ожидалось, что это даст принципиальную возможность построения и конструирования структуры материала атом за атомом. Например, хранение информации в малых объемах, увеличение скорости передачи информации – это только одна из причин возрастающего интереса к системам и устройствам, которые имеют наноразмеры. Другая причина в том, что наноматериалы обнаруживают новые и часто уникальные или более высокие эксплуатационные свойства по сравнению с традиционными материалами. Это, в свою очередь, открывает их новые технологические применения.

Углеродные наноструктуры (УНС) обладают рядом уникальных физических свойств. Такие УНС, как многослойные углеродные нанотрубки, могут

проявлять высокие электрическую проводимость, механическую прочность, термостабильность, что весьма перспективно для создания новых типов функциональных композиционных материалов [2]. Высокая степень анизотропии формы нанотрубок позволяет существенно модифицировать свойства композиционных материалов уже при очень малых объемных наполнениях композитов нанотрубками – порядка 0,1 – 5 %.

В настоящее время модификация углеродными и металлическими наночастицами различных промышленных материалов (лаки, краски, бетоны, абразивные суспензии и пасты, и др.) занимает существенную часть рынка наноиндустрии.

Целью данной работы было исследование возможности применения суспензий углеродных наноструктур, полученных из коксохимического сырья, для производства лакокрасочных покрытий с улучшенными свойствами.

Получение наномодификаторов. Ранее исследованиями УХИНа установлено, что в процессе термической переработки углей в коксовой печи образуются и распределяются в продуктах коксования различные углеродные наноструктуры [3, 4].

Образование УНС происходит в подсводовом пространстве коксовой печи. Об этом свидетельствует более высокое содержание УНС в подсводовом пироуглероде (1,8 %) и пыли из установки беспылевой выдачи кокса (УБВК) (1,2 %). Для сравнения укажем, что выход наноструктур из доменного кокса составляет 0,1 %.

Пыль УБВК является наиболее перспективным сырьем для получения УНС, т.к. она представляет собой крупнотоннажный побочный продукт коксохимического производства, требующий утилизации. Например, на ОАО «Алчевсккокс» ежедневно улавливается около 3 – 4 тонн пыли. В отличие от пироуглерода пыль УБВК не требует измельчения.

Для приготовления структурированных растворителей готовили водные суспензии для вододисперсионных красок и суспензии на основе органического растворителя для пентафталевых эмалей по методике выделения нанотрубок из катодного депозита [5].

Образцы пыли УБВК обрабатывали ультразвуком в течение 30 мин (частота излучения – 22 кГц, мощность – 150 Вт).

Затем суспензии подвергали центрифугированию (скорость вращения ротора – 8000 об/мин) в течение 60 мин для удаления аморфного углерода.

Концентрация УНС в полученных суспензиях составляла 0,9 масс. %.

Наномодифицирование лакокрасочных покрытий. Для исследования возможности применения структурированных растворителей, полученных с использованием наномодификаторов были выбраны вододисперсионная краска ВД-АК-111 и пентафталевая эмаль ПФ-115. Для вододисперсионной краски в качестве растворителя применялась структурированная вода, а для пентафталевой эмали – структурированный органический растворитель (уайт-спирит). Все испытания проводились в условиях производственной лаборатории ООО «Донецкхим – химический завод». Результаты испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Результаты применения наномодификатора на водной основе
для вододисперсионной краски

Наименование показателя	Норма в соответствии с ГОСТ 26196-89	Фактические данные	
		Контрольный образец	Образец с нанодобавкой
Время высыхания при температуре 20 °С, час, не более	1	1	0,5
Стойкость к статическому воздействию воды при температуре 20 °С, час	24	36	72

Таблица 2

Результаты применения наномодификатора на основе уайт-спирита
для пентафталевой эмали

Наименование показателя	Норма в соответствии с ГОСТ 6465-76	Фактические данные	
		Контрольный образец	Образец с нанодобавкой
Время высыхания при температуре 20 °С, час, не более	24	18	12
Твердость покрытия по прибору М-3, у.е., не менее	0,25	0,27	0,32

При исследовании свойств пентафталевой эмали ПФ-115 голубая, при введении в нее модифицированного органического растворителя установлено, что время высыхания при температуре 20 °С сокращается в 1.5 раза по сравнению с исходной эмалью и в 2 раза при сравнении с требованиями ГОСТа. При этом твердость покрытия по прибору М-3 увеличилась на 18.5 % по сравнению с эмалью ПФ-115 и на 28 % в соответствии с ГОСТ.

Выводы.

В результате испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Пыль УБВК является перспективным сырьем для получения углеродных наномодификаторов, которые можно эффективно использовать в различных сферах промышленности для улучшения эксплуатационных свойств материалов, в т.ч. и лакокрасочных покрытий.

2. Применение структурированной воды, полученной с использованием наномодификаторов, значительно ускоряет время сушки вододисперсионной краски и ее стойкость к статическому воздействию воды.

3. Применение структурированного уайт-спирита, полученного с использованием наномодификаторов, значительно ускоряет время сушки пентафталевой эмали и ее твердость.

Список литературы: 1. Рыжонков Д.И. Наноматериалы / Д.И. Рыжонков, В.В. Левина, Э.Л. Дзидзигури. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2008. – 365 с. 2. Лебовка Н.И. Исследование перколяционного поведения электрической проводимости и вязкости в водных суспензиях многослойных углеродных нанотрубок / [Н.И. Лебовка, М.А. Лисунова, Ю.П. Бойко, А.В. Мележик] // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2007. – Т. 5 (специальный выпуск), Ч. 1. – С. 161 – 171. 3. Шмалько В.М. Образование углеродных наноструктур при коксовании углей / [В.М. Шмалько, О.И. Зеленский, Н.В. Толмачев, И.В. Шульга] // Углекислотный журнал. – 2009. – № 3 – 4. – С. 37 – 41. 4. Зеленский О.И. Получение углеродных наноструктур из углей и продуктов коксования / [О.И. Зеленский, В.М. Шмалько, С.И. Богатыренко] // Углекислотный журнал. – 2010. – № 1 – 2. – С. 15 – 20. 5. Золотухин И.В. Углеродные нанотрубки / И.В. Золотухин // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 3. – С. 11 – 15.

Поступила в редколлегию 15.07.2010

Д.А. БРАЖНИК, канд. техн. наук, наук. співроб., НТУ «ХП», Харків
В.В. ПОВШУК, гол. інженер, ВАТ «Укрспецвогнетрив», Запоріжжя

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПЕРИКЛАЗОХРОМІТОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ФОСФАТНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ

Розглянуті фізико-хімічні процеси, що відбуваються при нагріванні сумішей периклазу і хроміту з фосфатними еднальними різного типу. Показана перевага використання три-полифосфату натрію.

The physico-chemical processes occurring at heating of mixes periclase and chromite with phosphate are considered binding various type. The advantage of use sodium treepolyphosphate is shown.

Дисперсні системи на основі фосфатних зв'язуючих є в'язучими, що вміщують неорганічний наповнювач та рідину затворення у вигляді розчинів ортофосфорної кислоти або металофосфатів [1 – 3].

Процеси, які обумовлюють твердіння фосфатних в'язучих, складні та індивідуальні для кожного складу матеріалів.

На хід їх перебігу вирішальний вплив вчиняє основність та дисперсність речовин, які складають тонкомелений наповнювач, кислотність рідини затворення, температура, яка забезпечує формування керамоподібних фаз, що не гідратуються.

Керування в'язучих властивостей в системі оксид – ортофосфорна кислота здійснюють зміною складу наповнювача.

Так, основні оксиди можуть бурхливо взаємодіяти з ортофосфорною кислотою, що заважає нормальному перебігу процесів структуроутворення.

Наявність у складі в'язучого менш активного компонента потребує нагріву.

У зв'язку з цим значний інтерес уявляють процеси взаємодії тонкомеленої складової, яка для периклазохромітових матеріалів є сумішшю хроміту та спеченого периклазу, з фосфатними зв'язуючими.

Ціллю роботи було дослідження фізичного стану речовини (наповнювача з фосфатними складовими різного походження) в залежності від температури.

Фізико-хімічні процеси взаємодії суміші хроміту зі спеченим периклазом при нагріві досліджували методом ДТА (диференційно-термічного аналізу) в інтервалі температур 293 – 1073 К.

Суміш хроміту та спеченого периклазу у співвідношенні 30 : 70, змішували з МФЗ (магнійфосфатне зв'язуюче) та АХФЗ (алюмохромфосфатне зв'язуюче), ТПФ (триполіфосфат натрію).

Дериватограми досліджених сумішей із добавками наведено на рис. 1 та рис. 2.

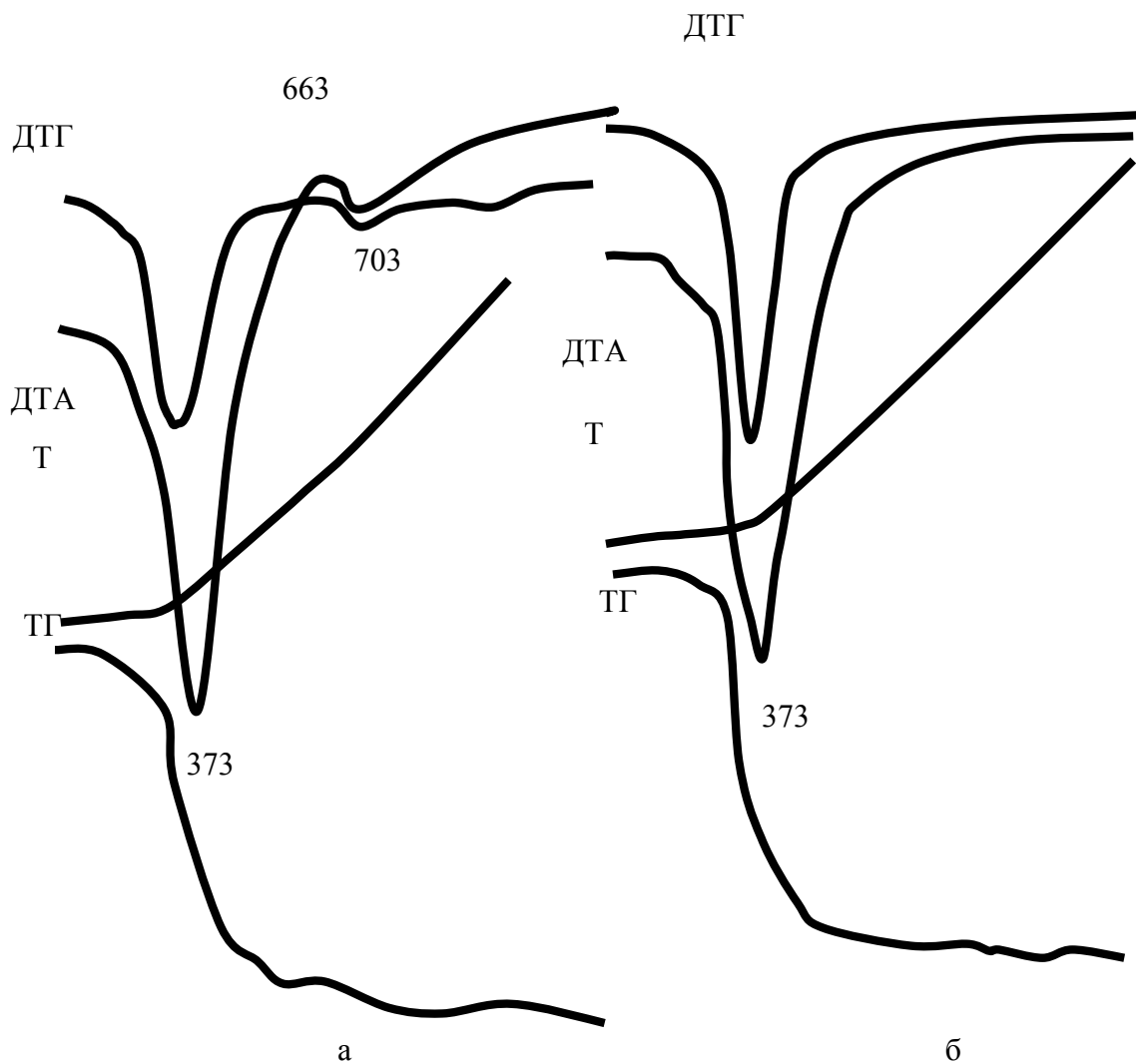


Рис. 1. Термогравітограми суміші хроміту та спеченого периклазу з різними зв'язуючими:

а – магній фосфатне зв'язуюче, б – алюмохромфосфатне зв'язуюче

В інтервалі температур до 360 К відзначаються малі втрати маси (рис. 1 – крива ТГ), що отвердіває і що викликана вилученням вільної і кристалізаційної води із фосфатних зв'язуючих.

На диференційній кривій (рис 1 – крива ДТА) в цьому інтервалі температур цим процесам відповідає великий ендотермічний ефект при 373 К.

Із наведеної на рис. 2 дериватограми ТПФ бачимо, що при нагріві цієї композиції відбуваються незначні втрати маси.

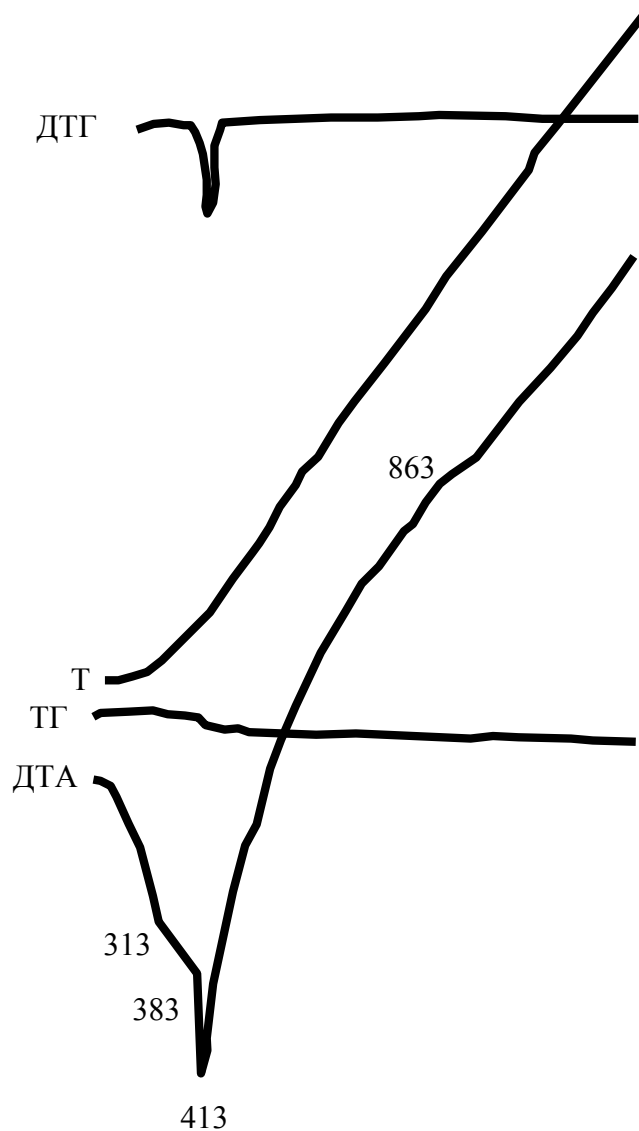


Рис. 2. Термогравітограма суміші хроміту та зпеченого периклазу з триполіфосфатом натрію

При температурі 313 К та 383 К відповідно відбувається втрата гігроскопічної та кристалізаційної води, за що відповідає перегін кривої.

При 413 К спостерігається ендотермічний ефект, що відповідає переходу з кристобалітної форми до берлінітової аморфної форми.

Ефект при 860 К відповідає відділенню кристалів пирофосфатів алюмінія.

Таким чином, бачимо, що твердіння фосфатних зв'язуючих обумовлено не тільки процесом взаємодії вихідних компонентів, але і кристалізацією розчину, що викликано хімічною реакцією його з наповнювачами.

Швидкість перебігу цих двох процесів залежить від складу наповнювача, концентрації розчинів фосфатних зв'язуючих і температури.

Встановлена перевага використання ТПФ, що має менші масові втрати при нагріві.

Для активації хімічної реакції взаємодії компонентів шихт слід передбачати введення активуючих спікання добавок, наприклад, каустичного магнізиту, підвищити кліючу здатність мас можливо за рахунок введення домішок – СДБ та V_2O_3 , лимоні та пальмітинової кислоти [4, 5].

Список літератури: 1. *Хорошавин Л.Б.* Магнезиальные огнеупоры: справ. изд. / *Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепилицын, В.А. Кононов.* – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 576 с. 2. *Романовский Л.Б.* Магнезиально-шпинелидные огнеупоры / *Л.Б. Романовский.* – М.: Металлургия, 1983. – 143 с. 3. *Копейкин В.А.* Огнеупорные бетоны на фосфатных связующих / *В.А. Копейкин, В.С. Климентьева, Б.Л. Красный.* – М.: Металлургия, 1986. – 102 с. 4. *Андриевский Л.Н.* Периклазоуглеродистые огнеупоры на связке из лигносульфонатов с добавками комплексного действия / [*Л.Н. Андриевский, М.Д. Бочанов, В.Н. Коптелов и др.*] // Огнеупоры. – 1991. – № 3. – С. 13 – 16. 5. *Кротиков В.А.* Исследование влияния фосфатныкремнийорганических вязующих на физико-технические свойства корундоуглеродистых огнеупоров / [*В.А. Кротиков, Г.С. Буслаев, А.Е. Жуковский и др.*] // Новые огнеупоры. – 2006. – № 2. – С. 35 – 39.

Надійшла до редколегії 14.07.10

В.И. ВИННИЧЕНКО, докт. техн. наук, проф., ХГТУСА, г. Харьков;
Н.Ю. ЖУКОВА, аспирант, ХГТУСА, г. Харьков

АНАЛИЗ ТЕПЛОТЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ В ИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЕМИСТОЙ СМЕСИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

В залежності від застосування механічної активації вапняно-кремнеземистого в'язучого при виробництві силікатної цегли проведено порівняльний термодинамічний аналіз теплоти утворення гідросилікатів кальцію. Показано, що механічна активація позитивно впливає на силікатну суміш, збільшуючи теплоту утворення гідросилікатів кальцію в середньому на 6800 кал/моль.

Depending on the application of mechanical activation of lime-siliceous binder in the manufacture of silica brick Thermodynamic analysis of the comparative heat of formation hydrosilicates of calcium. Shown that mechanical activation positively affects the silicate mixture, increasing the heat of formation of hydrosilicates of calcium an average of 6800 cal/mol.

Все более широкое применение как новый способ ускорения физико-химических процессов находит активация измельчением, используемая для ускорения технологических процессов или снижения энергетических затрат на обработку минерального сырья.

Процесс измельчения – это не просто уменьшение размеров частиц. Это сложный физико-химический процесс увеличения потенциальной энергии вещества и повышения его химической активности вследствие увеличения поверхностной энергии и энергии внутреннего строения [1].

Механическая обработка компонентов оказывает значительное влияние на характер и ход химических реакций, в результате во многих случаях продукты реакций значительно отличаются от тех же продуктов, полученных при традиционном ходе реакций. Причем, при механической обработке химические реакции наиболее интенсивно протекают непосредственно в период механической обработки с постепенным затуханием после ее снятия. Указанное обстоятельство определяет особый интерес к исследованию энергетического состояния минеральных веществ сразу после прекращения механического воздействия.

Активированные твердые вещества характеризуются термодинамической неустойчивостью вследствие нарушения стабильного расположения

структурных элементов (ионов, атомов, молекул и их элементарных группировок), слагающих твердое тело. По сравнению с идеальными монокристаллами активированное измельчением вещество характеризуется иными значениями стандартной свободной энергии образования $\Delta G_{обр}$, теплоты образования (энтальпии) $\Delta H_{обр}$ [1].

Физическая сущность процесса механической активации не имеет четкого определения и выражается совокупностью физико-химических изменений, связанных с накоплением поверхностной и внутренней энергии, т.е. вещество приобретает избыточную энергию.

Изменения, происходящие при этом с минеральными веществами, сопровождаются переходом в состояние, характеризующееся более высокой энтальпией.

Так, переход кварц – аморфный кремнезем сопровождается повышением энтальпии в 2,5 ккал/моль [2].

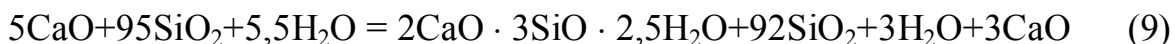
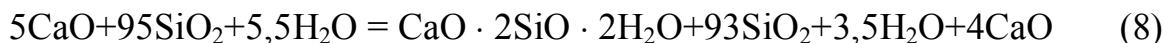
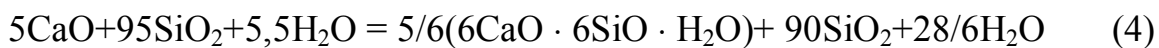
Накопленная при механической активации вещества энергия проявляется в повышении химической активности в последующих процессах переработки [3].

В.И. Бабушкиным, Г.М. Матвеевым, О.П. Мчедловым-Петросяном в системе $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ были рассмотрены реакции образования девяти гидросиликатов кальция: гиллебрандита, афвиллита, фошагита, ксонотлита, риверсайдита, тоберморита, пломбиерита, океанита и гиролита из $\text{Ca}(\text{OH})_2$, β -кварца и воды для соотношения $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и SiO_2 , равных 1 : 2, 2 : 3, 5 : 6, 1 : 1, 4 : 3, 3 : 2, 2 : 1.

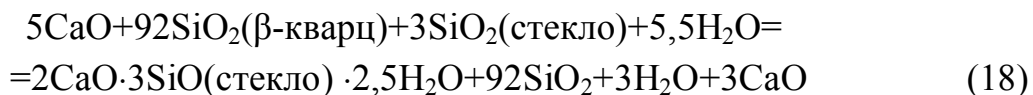
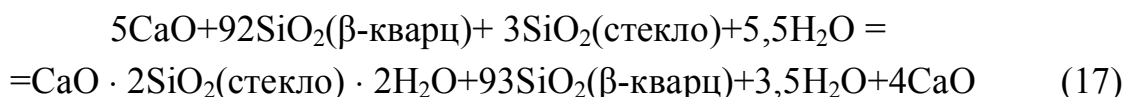
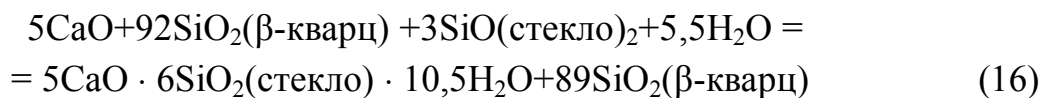
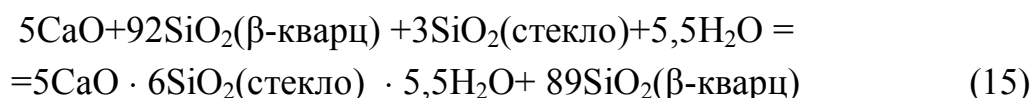
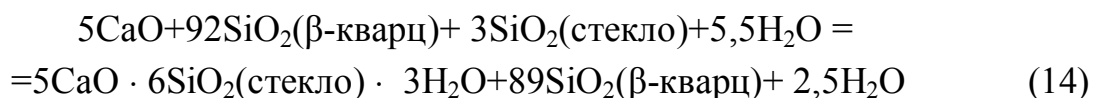
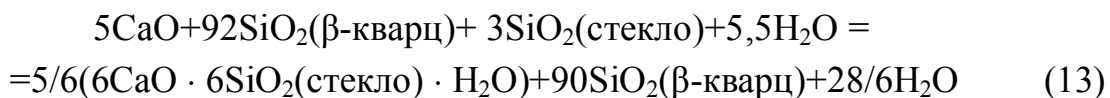
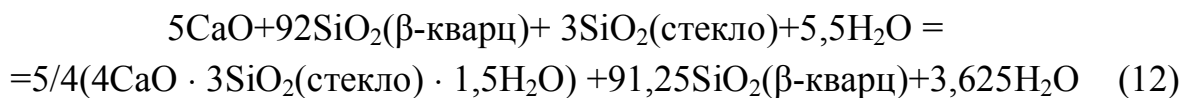
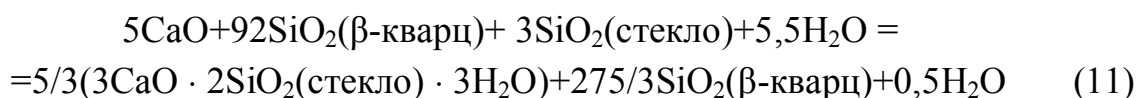
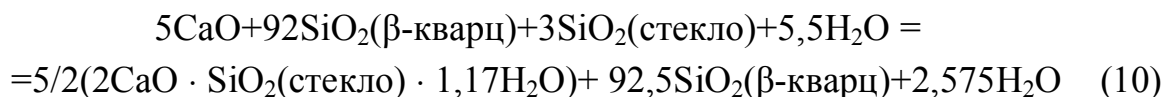
С учетом того, что по данным Хинта [4] при механической активации 3 % кристаллической SiO_2 переходит в растворимое состояние для сравнительного анализа был произведен расчет теплоты образования при температуре 273, 298, 323, 423 и 473 К образования гидросиликатов в системе $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$, при близком к производственному соотношению, CaO и SiO_2 , равного 5 : 95 в зависимости от применения активации. Исходные данные, использованные в расчетах, заимствованы из [3].

Уравнения реакций образования гидросиликатов кальция без активации:





Уравнения реакций образования гидросиликатов кальция с активацией:



На основании полученных данных построены зависимости теплоты образования от температуры без активации (рис. 1) и с активацией (рис. 2).

Согласно первому закону термодинамики изменение внутренней энергии термодинамической системы всегда сопоставляется с физическими величинами: количеством работы, количеством термического воздействия, количеством химического или электрического воздействия. В зависимости от свойств и конкретных условий систему можно заставить либо передавать часть своей внутренней энергии, либо воспринимать воздействия от окружающей среды [5].

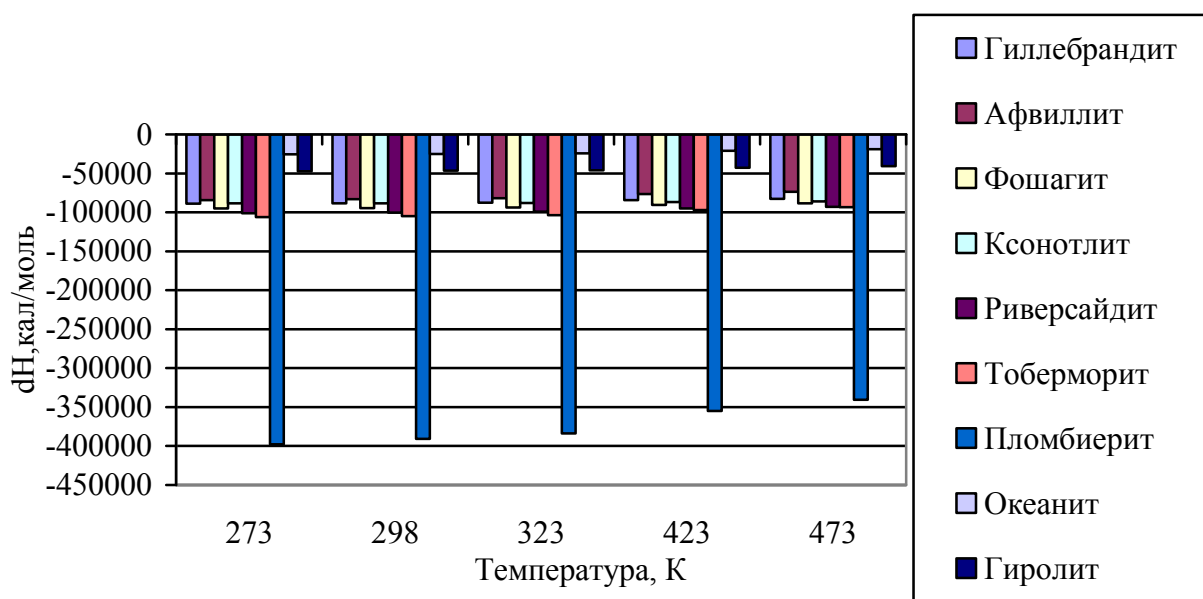


Рис. 1. Зависимость теплоты образования гидросиликатов кальция без активации

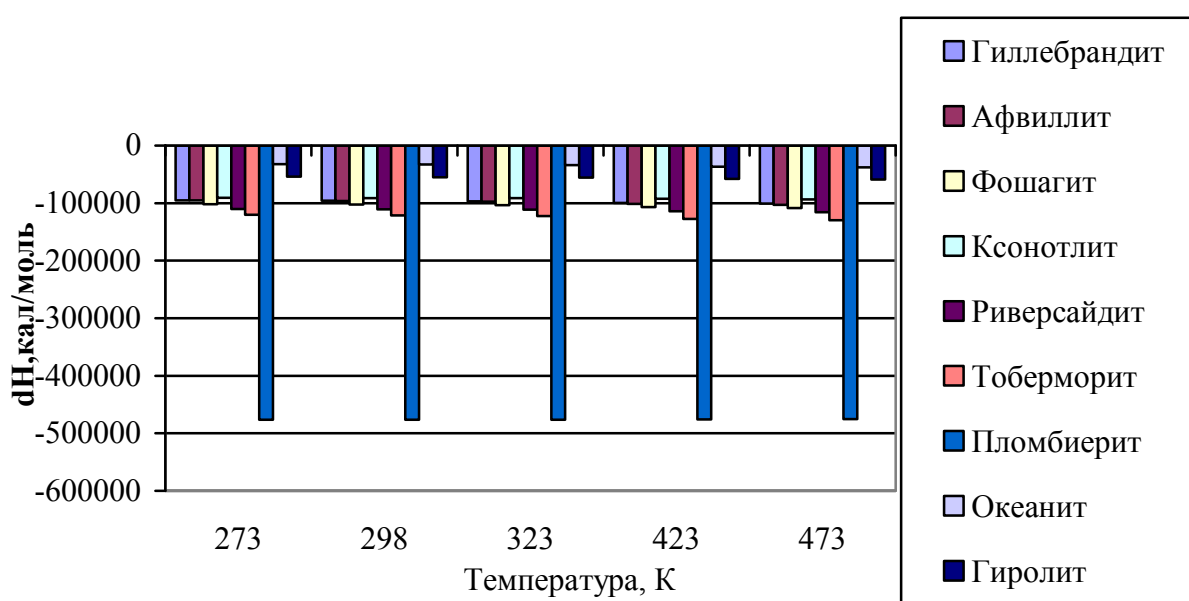


Рис. 2. Зависимость теплоты образования гидросиликатов кальция при активации

При механической активации отмечается увеличение теплоты образования для гиллебрандита при температуре 273 К $\Delta = -6815,93$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6812$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6810,31$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6787,83$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6751,84$ кал/моль; для афвиллита при температуре 273 К $\Delta = -6813,95$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6810$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6808,31$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6785,83$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6749,54$ кал/моль; для фошагита при температуре 273 К $\Delta = -6815,9$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6812,02$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6810,32$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6787,9$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6751,8$ кал/моль; для ксонотлита при температуре 273 К $\Delta = -6813,93$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6810$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6808,3$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6785,84$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6749,86$ кал/моль; для риверсайдита при температуре 273 К $\Delta = -6813,9$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6810,3$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6808,3$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6785,9$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6749,8$ кал/моль; для тоберморита при температуре 273 К $\Delta = -6814$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6810$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6808,3$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6785,8$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6749,9$ кал/моль; для пломбиерита при температуре 273 К $\Delta = -6813,9$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6810$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6808,3$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6785,8$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6749,8$ кал/моль; для океанита при температуре 273 К $\Delta = -6813,93$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6810$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6808,3$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6785,83$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6749,86$ кал/моль; для гиролита при температуре 273 К $\Delta = -6815,87$ кал/моль, 298 К $\Delta = -6812$ кал/моль, 323 К $\Delta = -6810,3$ кал/моль, 423 К $\Delta = -6787,83$ кал/моль, 473 К $\Delta = -6751,86$ кал/моль.

Таким образом, полученные данные подтверждают возможность увеличение теплоты образования (в среднем $\Delta = -6800$ кал/моль) путем воздействия механической активации.

Список литературы: 1. *Биленко Л.Ф.* Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий / *Л.Ф. Биленко.* – С.-Пб.: ММИ, 2003. – С. 350 – 362. 2. *Хинт Й.А.* Основы производства силикальцитных изделий / *Й.А. Хинт.* – Л.: Стройиздат. – 1962. – 599 с. 3. *Хомченко Ю.В.* Механоактивация известково – кремнеземистого вяжущего для материалов автоклавного твердения / *Ю.В. Хомченко, В.Д. Барбанягр* // Сб. тр. «Строительное материаловедение – теория и практика», М.: СИП РИА. – 2006. – С. 153 – 154. 4. *Хинт Й.А.* Силикальцит / *Хинт Й.А.* // Бюллетень научно-технической информации. – Таллин: Эстонское государственное издательство, 1960. – № 6. – 63 с. 5. *Бабушкин В.И.* Термодинамика силикатов / *В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян.* – М.: Стройиздат, 1965. – 350 с.

Поступила в редколлегию 15.07.10

К.Ю. ДЕЙНЕКА, инженер, НУВХП, г. Ривне

СОЗДАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ С АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ВНУТРИКАМЕРНОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Показано, що стійкість стаціонарного обертання барабана визначається варіаціями осьового моменту інерції внутрішньокамерного завантаження в його усталеному русі та співвідношенням жорсткості механічної характеристики машинного агрегату. Розглянуто стійкість гравітаційного руху завантаження обертового барабана. Показано, що нестійкість зростає зі збільшенням дилатансії завантаження при деформуванні. Демпфуючий вплив подрібнюваного матеріалу на взаємодію мольольних тіл посилює пульсації завантаження. На основі аналізу отриманих результатів встановлено умови інтенсифікації прояву автоколивань. Запропоновано керувати нестійкими режимами з метою інтенсифікації подрібнення.

The stability of stationary rotation of drum was demonstrated to determined by the variation of centroidal moment of inertia of intramill filling in its steady-state flow and by the ratio of severity of speed-torque characteristics of machine. The rotating drum granular filling flow stability is considered. The unstability was demonstrated to rise as the filling dilatation under deformation increased. The damping effect of in-process material on grinding solids collisions excites the filling oscillations. The rises of the rate of oscillator conditions are established on the basis of examination of the data were determined. The control of unstable operation conditions was put forward for raising the rate of milling.

Барабанные мельницы благодаря ряду преимуществ остаются основным оборудованием многотоннажного измельчения дисперсных материалов.

Вместе с тем недостатком таких мельниц является относительно низкая интенсивность циркуляции мелющей загрузки в камере барабана, что обусловлено образованием значительной квазитвердотельной массы загрузки вблизи стенки камеры.

В последнее время увеличилось количество предложений по активизации циркуляции мелющей загрузки путем генерирования пульсирующего режима ее движения с применением разнообразных внутрикамерных энергообменных устройств.

Однако вследствие низкой надежности, обусловленной высокой абразивностью загрузки, такие средства не получили широкого применения.

При работе барабанных мельниц возникают неустойчивые режимы вращения, проявляющиеся в виде возбуждения вынужденных колебаний в приводе и образования переменной составляющей сигнала активной мощности

приводного двигателя.

В настоящее время основной причиной неустойчивых режимов вращения барабанных мельниц считаются фрикционные крутильные колебания внутрикамерной загрузки, вызванные проскальзыванием ее относительно поверхности камеры.

Однако применение таких упрощенных моделей приводит к неучитыванию ряда параметров и обуславливает расхождение получаемых результатов с экспериментальными данными.

В качестве цели исследования было принято определение условий неустойчивости движения барабанных мельниц и влияния ее на рабочие процессы измельчения.

Эффект неустойчивости движения загруженного барабана мельницы в виде автоколебаний был зарегистрирован экспериментально [1].

Он проявляется в двух формах.

Первое проявление автоколебаний является бифуркацией установившегося движения системы с образованием периодического аттрактора.

Второе проявление автоколебаний в виде пульсаций загрузки является бифуркацией сдвигового зернистого потока с образованием странного аттрактора вследствие хаотизации движения.

Первое проявление неустойчивости состоит в невозможности свободного вращения барабана с заданной скоростью без принудительной ее стабилизации.

Это обуславливает самовольный отход величины скорости от начального значения преимущественно в сторону увеличения.

Установлено, что факторами неустойчивости для первого проявления эффекта являются вариации жесткости зависимостей осевого момента инерции и момента сопротивления загрузки от скорости вращения [2].

Второе проявление эффекта возникает при условии принудительной стабилизации угловой скорости, например путем автоматического управления приводом барабана.

Оно состоит в самовозбуждении колебаний загрузки в поперечном сечении камеры в виде пульсаций, усложняющих стационаривание скорости.

Во время таких колебаний значительная часть загрузки в верхней половине камеры отделяется от поверхности и совершает насвободное падение со взаимодействием элементов между собой.

Это вызывает существенное уменьшение твердотельной зоны и значи-

тельную интенсификацию циркуляции загрузки.

Установлено, что фактором неустойчивости второго проявления эффекта является дилатансия загрузки в камере вращающегося барабана, реализующую преимущественно в сдвиговом потоке [3].

Установлено, также, что действие частиц измельчаемого материала является фактором хаотизации взаимодействия элементов загрузки.

Это обуславливает расширение диапазона бифуркационных значений скорости вращения, преимущественно в сторону уменьшения нижнего числа.

На основе метода визуализации полученных картин движения загрузки в поперечном сечении камеры вращающегося барабана, с использованием расчетных сеток с концентричным и рядным расположением ячеек [4], были получены зависимости динамических параметров внутрикамерной загрузки – при установившихся режимах движения от скорости вращения [5], а при переходных режимах – от времени [6].

Обобщение полученных результатов позволило получить качественные зависимости момента инерции I_3 , момента сопротивления M_3 и дилатансии u загрузки от скорости вращения барабана ω и производных этих динамических параметров по ω (рис. 1).

Анализ зависимостей свидетельствует о возникновении автоколебаний в режимах движения загрузки, выделенных штриховкой, преимущественно с полным, а также с частичным подбрасыванием.

Установлено, что наличие измельчаемого материала в загрузке обуславливает интенсификацию его автоколебаний путем уменьшения нижней бифуркационной относительной скорости, с $\psi_\omega \rightarrow 1$ вплоть до $\psi_\omega = 0,3$ (рис. 2).

При этом диапазон скоростей при максимальной амплитуде колебаний остается неизменным, независимо от содержания материала – $\psi_\omega = 0,85 - 1,15$ (рис. 3).

Было оценено влияние содержания частиц измельчаемого материала в загрузке на повышение эффективности измельчения в мельницах с автоколебательной загрузкой.

Производительность помола оценивалась за значением просева через контрольное сито № 008, а энергетическая эффективность – за удельными затратами энергии при получении этого просева.

Численное значение изменения производительности оценивалось соотношениями P_M/P_T , где P_M и P_T – производительность помола для модернизированного и традиционного режимов, а изменения удельных затрат энер-

гии – соотношениями $E_M/E_T=(N_M/\Pi_M)/(N_T/\Pi_T)$, где E_M и E_T – удельные затраты энергии, N_M и N_T – мощности привода для этих режимов.

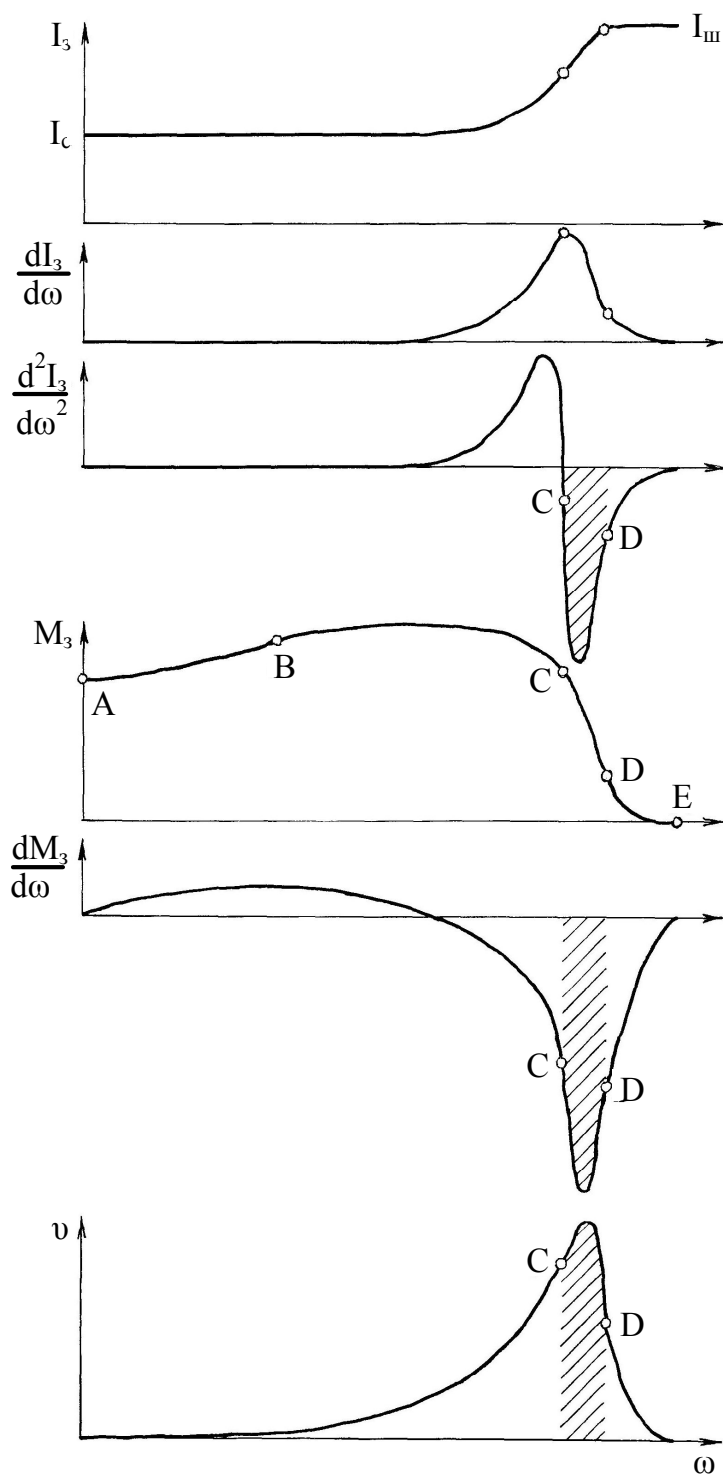


Рис. 1. Схема качественных зависимостей динамических параметров загрузки от скорости вращения ω :

AB – режим движения загрузки без подбрасывания,
 BC – с частичным подбрасыванием, CD – с полным подбрасыванием,
 DE – неполного центрифугирования.

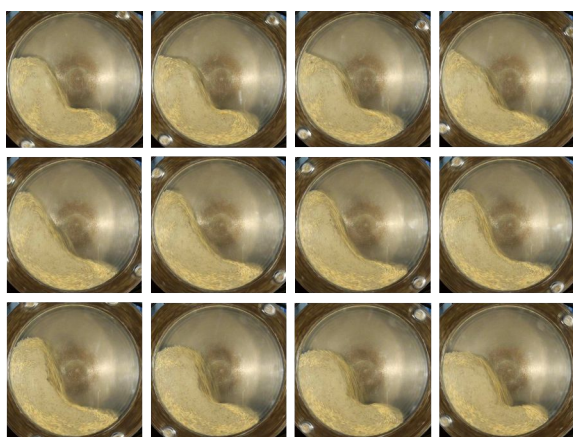


Рис. 2. Последовательные картины автоколебаний загрузки при $\kappa = 0,3$, наличии материала и $\psi_\omega = 0,3$.

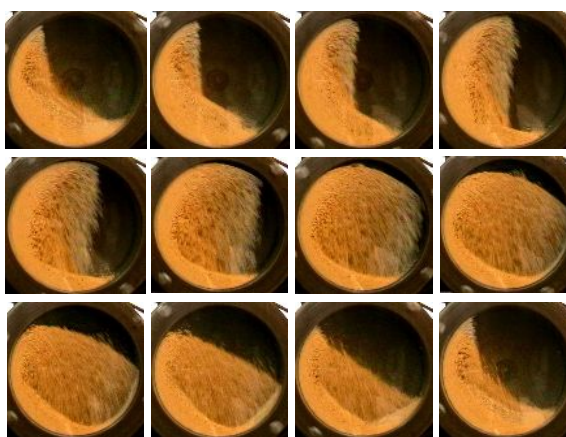


Рис. 3. Картины колебаний при $\kappa = 0,3$, отсутствии материала и $\psi_\omega = 0,85 - 1,15$.

Степень заполнения камеры загрузкой составляла $\kappa = 0,3$.

Степени заполнения частицами измельчаемого материала промежутков между мелющими телами $\kappa_{мп}$ составляли 0,25, 0,5, 0,75 и 1.

Для традиционного режима принималось $\psi_\omega = 0,75$.

Длительность измельчения составляла 30 минут.

Результаты приведены на рис. 4.

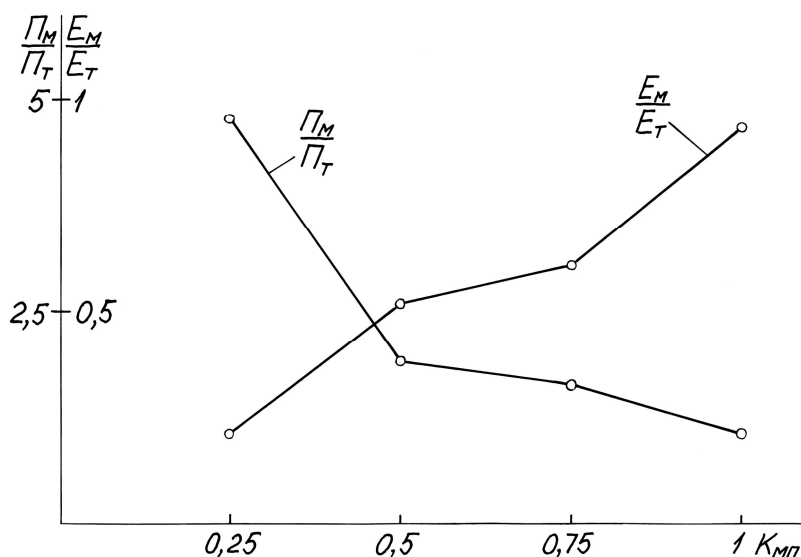


Рис. 4. Зависимости $\frac{P_M}{P_T}$ и $\frac{E_M}{E_T}$ от $\kappa_{мп}$.

Оказалось, что применение автоколебательного режима движения внутрикамерной загрузки, по сравнению с традиционным процессом измельчения в барабанных мельницах, позволяет в среднем повысить производительность приблизительно на 20 – 50 % и снизить удельные затраты энергии

на 17 – 33 %. При этом с уменьшением содержания измельчаемого материала в загрузке эффективность процесса помола возрастает.

Список литературы: 1. *Науменко К.Ю.* Автоколебания внутрикамерной загрузки барабанной мельницы / *К.Ю. Науменко* // Научные исслед., наносистемы и ресурсосберегающ. технологии в стройиндустрии: Междунар. науч.-практич. конф., 2007 г.: сб. докл. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. – Ч. 7: Энергосберегающ. технол. комплексы и оборуд. для пр-ва строит. материалов. – С. 81 – 83. 2. *Науменко К.Ю.* Нестійкі режими обертання барабанних млинів / *К.Ю. Науменко* // Вісник НУВГП. – 2006. – Вип. 2(34), Ч. 2. – С. 111 – 119. 3. *Дейнека К.Ю.* Стійкість руху внутрішньокамерного завантаження барабанного млина / *К.Ю.Дейнека* // Вісник НУВГП. – 2008. – Вип. 3(43). – С. 250 – 257. 4. *Науменко К.Ю.* Застосування методу візуалізації для визначення змінних інерційних параметрів внутрішньокамерного завантаження барабанного млина / *К.Ю.Науменко* // Вісник НУВГП. – 2007. – Вип. 4(40), Ч. 3. – С. 9 – 16. 5. *Дейнека К.Ю.* Експериментальне визначення динамічних параметрів внутрішньокамерного завантаження барабанного млина методом візуалізації / *К.Ю.Дейнека* // Зб. наук. праць (галуз. машинобудування, буд-во). – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 23., Т. 1. – С. 123-133. 6. *Дейнека К.Ю.* Експериментальне визначення характеристик автоколиваний внутрішньокамерного завантаження барабанного млина методом візуалізації / *К.Ю.Дейнека* // Вісник. НУВГП. – 2009. – Вип. 3(47), Ч. 2. – С. 351 – 358.

Поступила в редколлегию 15.07.2010

УДК 666.32/36

В.В. КОЛЕДА, канд. техн. наук, провід. наук. співроб.;

О.С. МИХАЙЛЮТА, канд. техн. наук, наук. співроб.;

Т.О. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.;

Ю.В. ДІДЕНКО, студент, ***Є.В. АЛЕКСЄЄВ***, мол. наук. співроб.

ДВНЗ «УДХТУ», м. Дніпропетровськ

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КАОЛІНІВ ТУРБІВСЬКОГО РОДОВИЩА В КЕРАМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

В статті приведені результати комплексних досліджень каолінів Турбівського родовища та аналіз можливості їх застосування в різних керамічних технологіях. Встановлено хімічний, мінералогічний та гранулометричний склади дослідних каолінів, а також визначено їх основні технологічні властивості (особливості спікання, білизну у сухому та прожареному стані. За результатами досліджень подано рекомендації щодо використання сировини.

In the article are proposed complex researches the results of Turbovsky deposit kaolin's and analysis the possibility of their application in different ceramic technologies. The chemical, mineralogical and grain-size compositions of experimental kaolin's and basic technological properties (features of burning, linen in the dry and others) are studied. As a result of researches the recommendations to the use of raw material are given.

Каолін – цінна гірська порода, яка відома та використовується людиною тисячі років, і до теперішнього часу залишається потрібною завдяки своєму складу та унікальному комплексу фізико-хімічних властивостей.

Україна одна з небагатьох територій земної поверхні, яка має великі поклади цієї глинистої сировини, більшість яких ще залишаються не опанованими. В природі існують три види каолінів [1] – первинні, вторинні та лужні, які суттєво відрізняються за складом, але всі вони в якості основного компонента містять глинистий мінерал каолініт ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$).

Первинні каоліни, як правило, підлягають збагаченню, оскільки містять велику кількість супутніх матеріалів, таких, як кремнезем, оксиди та силікати заліза, титану, лужних та лужноземельних металів, наявність яких ускладнює подальше використання даної сировини. Вторинні каоліни мають більш однорідний мінеральний склад з незначною кількістю домішок. Лужні каоліни включають додатково залишки материнської породи – польового шпату.

Вказані глинисті матеріали мають дуже широке використання і залишаються незамінними у виробництві вогнетривів, тонко керамічних виробів, паперу, гуми, фарб, полімерів ін.

На території України відомо багато родовищ та проявів каолінів, з них найбільш вивчені первинні каоліни Просянівського, Глуховецького, Березівського, а також вторинні Полозького, Мурзинського та Володимирського родовищ. У зв'язку з поступовим їх вичерпанням, актуальними є дослідження, спрямовані на пошук та вивчення каолінів нових покладів і родовищ, а також можливості розширення галузей застосування вже відомих. Так, вже знайшли застосування у виробництві вогнетривів, гуми та технічних тканин первинні каоліни досить крупного родовища, розташованого поблизу с. Турбів в Вінницькій області, але даних на предмет використання цих каолінів у керамічних виробництвах в літературі не наведено.

Метою роботи було проведення комплексних досліджень глинистих матеріалів Турбівського родовища. Проби були відібрані з 6 свердловин на різних глибинах (від 5 до 39 м) за схемою, приведеною на рис. 1. Результати визначення їх хімічного складу представлені в табл. 1.

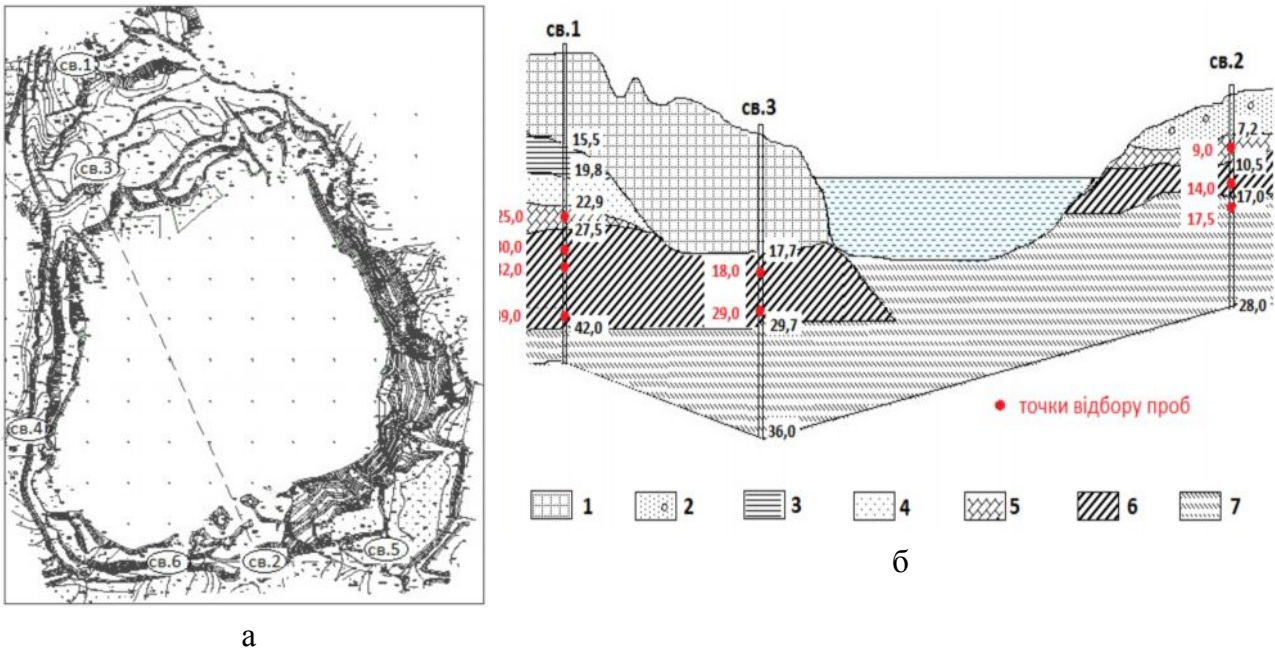


Рис. 1. Схема розташування свердловин (а)
та відбору проб в свердловинах 1 – 3 (б):

- 1 – суглинок важкий пілуватий, жовто-сірий, сірий, туго- та м'якопластичний, з тонкими прошарками піску дрібного з включеннями гравію до 5 % та окремих глиб каоліну;
2 – пісок дрібний світло-сірий, жовто-сірий, 3 – глина темно-сіра напівтверда,
4, 5 – твердий та напівтвердий каолін з включеннями дресви та щебеню гранітоїдів
40 – 45 %, зберігає структуру материнської породи,
7 – граніт, кварц дуже низької міцності

Таблиця 1

Хімічний склад проб дослідних матеріалів

№ свердлов./ (глибина, м)	Вміст, в мас. %								SiO ₂ вільн	ВПП
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		
1 / (25,0)	60,6	27,1	0,96	0,62	0,10	0,14	0,25	0,05	23,2	10,30
1 / (30,0)	63,6	23,0	0,98	0,66	0,20	0,16	0,18	0,05	27,5	10,48
1 / (32,0-39,5)	63,0	22,9	2,20	0,64	0,17	0,35	3,55	0,34	14,0	7,02
2 / (9,0-14,0)	60,2	27,5	0,84	1,00	0,10	0,10	0,10	0,05	21,0	10,35
2 / (17,5)	58,0	27,4	2,80	0,96	0,13	0,50	0,10	0,05	17,0	9,90
3 / (18,5-29,0)	63,0	19,3	3,50	0,62	0,45	0,48	4,25	1,10	20,0	5,88
4 / (13,0-17,0)	56,2	30,3	1,00	1,54	0,10	0,10	0,10	0,05	14,9	10,90
4 / (19,0)	56,0	27,9	2,40	0,75	0,10	0,10	0,10	0,05	13,7	12,20
4 / (22,0-25,5)	64,4	22,0	2,30	0,80	0,12	0,38	3,20	0,29	29,6	6,25
5 / (23,0-25,0)	57,2	27,9	2,70	1,21	0,10	0,10	0,10	0,05	15,0	10,45
5 / (31,0-37,0)	59,8	23,7	4,00	1,08	0,10	0,51	1,90	0,18	28,6	7,45
6 / (5,0-13,5)	69,5	20,0	1,00	0,95	0,24	0,14	0,10	0,05	16,5	7,85
6 / (15,0-18,0)	72,0	18,0	1,56	0,95	0,24	0,14	0,10	0,05	16,5	6,74

З приведених результатів видно, що найбільш високий вміст Al_2O_3 в межах 27,1 – 30,3 % характерний для проб, відібраних у верхніх шарах свердловин № 1/(25,0) м; № 2/(9,0 – 14,0) м; № 4/(13,0 – 17,0) м та № 5/(23,0 – 25,0) м; декілька менші показники для каолінів свердловини № 6 (5,0 – 13,0) м.

При збільшенні глибини відбору проб вміст оксиду алюмінію в них знижується, а забарвлюючих та легкоплавких сполук – збільшується, що можна пояснити природними процесами утворення каолінів: у верхніх шарах розташовані нормальні каоліни, які є кінцевим продуктом повної каолінізації в результаті вивітрювання гранітоїдних материнських порід, які містять польові шпати, тоді як середні шари представлені лужними каолінами, що є перехідними продуктами при вказаних перетвореннях [2].

Важливе значення при визначенні придатності сировини для виготовлення різних керамічних виробів мають її мінералогічний та гранулометричний склади. Наявність тих чи інших мінералів та домішок в дослідних каолінах оцінювали за результатами рентгенофазового аналізу (рис. 2).

З приведених рентгенограм видно, що верхні шари каолінової руди в якості основних мінералів містять каолініт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (дифракційні максимуми $d = 7,19; 3,57; 2,34; 1,48; 1,28 \text{ \AA}$) та кварц $\beta\text{-SiO}_2$ ($d = 4,25; 3,34; 2,46; 2,28; 1,81; 1,54; 1,37 \text{ \AA}$), при цьому кількість домішок мінімальна у порівнянні з пробами, відібраними на більших глибинах.

Так, майже вільні від домішок проби із свердловин № 1/(25,0 м), № 2/(9,0 – 14,0 м), № 4/(13,0 – 17,0 м) та № 6/(5,0 – 13,5 м); проби свердловини № 5/(23,0 – 25,0 м) мають у своєму складі невелику кількість ільменіту (FeTiO_3).

Зі збільшенням глибини відбору проб зустрічаються забарвлюючі оксиди (заліза, титану), при цьому вони можуть як входити до структури різних мінералів – гідрослюди (глауконіта $\text{K}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$), так і зустрічатись у вигляді окремих включень – ільменіту, магнетиту (Fe_3O_4) та рутилу TiO_2 , які внаслідок їх невеликого вмісту рентгенофазовим аналізом не фіксуються, але визначаються петрографічним аналізом.

Окрім того, на більших глибинах в руді зустрічаються також домішки мінералів групи гранатів – альмандину $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ – в свердловинах № 1/(35,5 – 39,5 м), № 2/(17,5 м), № 4/(28,5 м), № 5/(27,0 – 31,5 м) та № 6/(18,0 м). Також, в нижніх шарах відбору проб в деяких свердловинах (№ 1/(32 – 39,5 м) та № 4/(22,0 – 25,5 м) визначається наявність мікрокліну $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$.

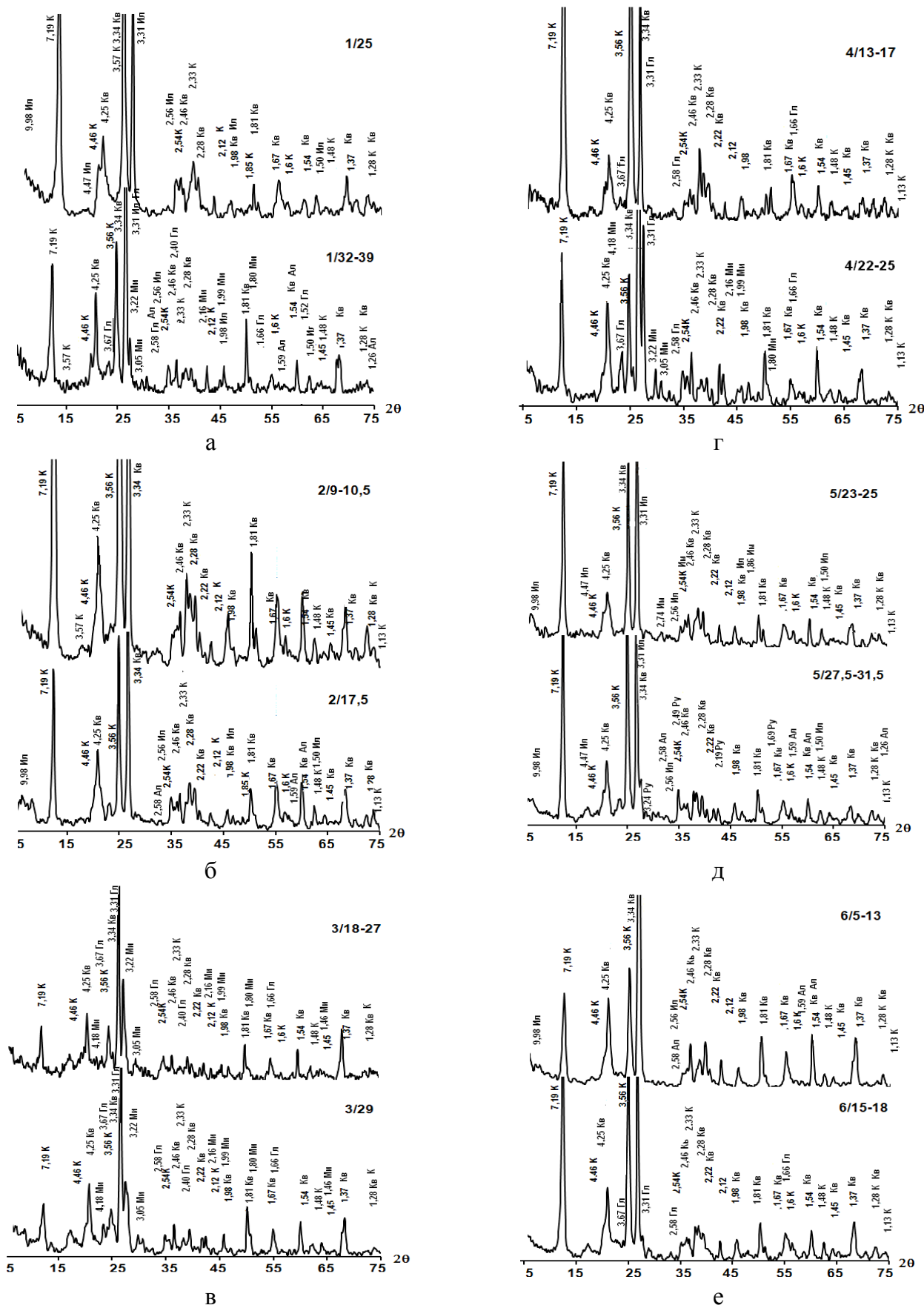


Рис. 2. Рентгенограми дослідних каолінів:
 К – каолініт, Кв – кварц, Ми – Мікроклін,
 Гл – глауконіт, Ил – іліт, Ал – альмандин, Ру - рутил

Необхідно зазначити, що проби, відібрані з різних глибин свердловини № 3, відзначаються відносною сталістю мінералогічного складу, але містять більшу кількість забарвлюючих домішок.

Диференційно-термічний аналіз дослідних глинистих матеріалів показав (рис. 3) деякі відмінності в їх поведінці при нагріванні до 1000 °С.

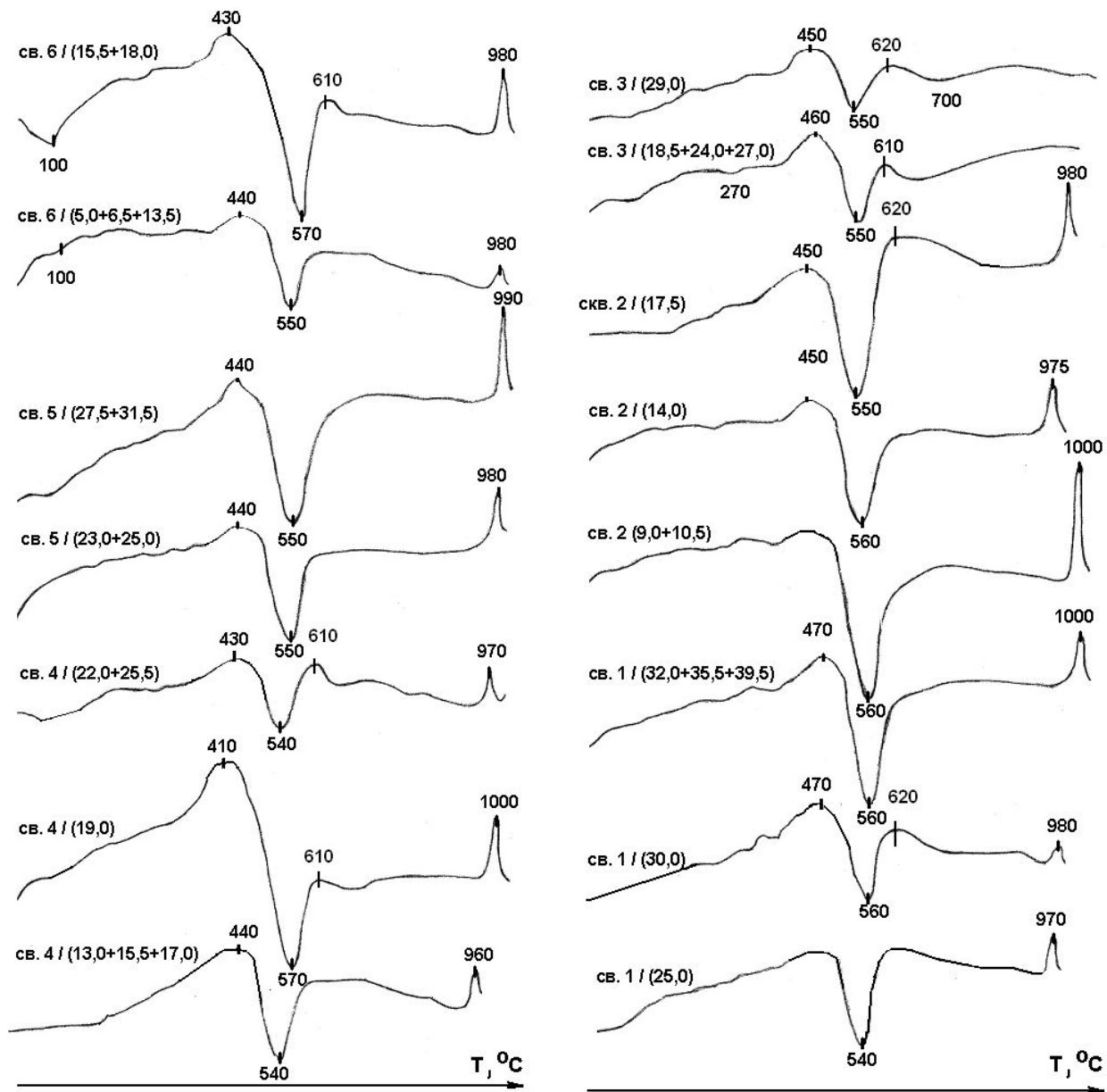


Рис. 3. Криві ДТА дослідних матеріалів

На всіх термограмах присутній ендоефект при 520 – 570 °С, який пов'язаний з видаленням хімічнопов'язаної води із структури каолініту.

Окрім того, даний ефект співпадає з ендоефектом при 575 °С, який свідчить про модифікаційні перетворення β- в α- кварц, що супроводжуються також зміненням об'єму даної модифікації кремнезему [3].

Невеликий екзоефект в межах температур 430 – 480 °С, як правило, свідчить про наявність в глинистій сировині домішок гідрослюдястих матеріалів (іліту, глауконіту), при цьому піки найбільшої інтенсивності присутні на термограмах проб середніх шарів залягання.

Вказане пояснюється природою гідрослюдястих мінералів, які є перехідною ланкою при переродженні гранітів в каоліни [4].

Екзоефект в межах 610 – 620 °С свідчить про перетворення залізовміщуючих мінералів, що на практиці проявляється в зміненні забарвлення після термічної обробки матеріалу; при цьому дані ефекти відмічаються на термограмах проб, відібраних в нижніх шарах, тобто більш забруднених залізистими домішками.

Екзоефект в інтервалі температур 960 – 1000 °С обумовлений кристалізацією первинного муліту, при цьому температура початку цього ефекту залежить від ступеня досконалості кристалічної решітки каолініту [5].

Так, для каолінів верхніх шарів, коли природній процес утворення каолініту практично завершений та його частки вже мають досить високий ступінь досконалості кристалічної структури, екзоефект спостерігається при більш низьких температурах (св. № 1/25,0 м – 970, № 2/14,0 м – 975, № 4/13,0 – 17,0 м – 960 °С і т.д).

Відсутність такого екзоефекту на термограмах проб, відібраних в свердловині № 3 пояснюється вельми низьким вмістом глинистої складової (Al_2O_3 19,0 мас. %), а також наявністю значного вмісту лужних оксидів (більше 5 мас. %), які разом із залізистими домішками сприяють утворенню в процесі нагріву склофази, що пригнічує кристалізацію первинного муліту.

Аналіз гранулометричного складу (табл. 2) показав, що в цілому, практично в усіх відібраних пробах вміст тонкодисперсної фракції, представленої глинистими мінералами, складає більше 50 мас. %, при цьому найбільша їх кількість (від 70 до 90 мас. %) спостерігається у верхніх шарах залягання каолінової руди, а в нижніх – найменша (в деяких пробах не перевищує 44 мас. %).

Виключення характерні для проб, відібраних по всім глибинам свердловини № 3 – в них вихід глинистої фракції низький (36 – 44 %).

Однією з важливіших характеристик каолінів, яка впливає на можливість їх застосування в різних галузях виробництва є білизна в сухому та прожареному стані.

Для цього каоліни збагачували проціджуванням шлікеру через сито №

0063, підсушували його до вологості 30 – 32 % та відливали зразки-плиточки, на яких вимірювали білизну каолінів до та після прожарювання при 700 і 1250 °С (рис. 4).

Таблиця 2

Гранулометричний склад дослідних глинистих матеріалів, мас. %

№ свердловини	Глибина відбору, м	Фракційний склад за розміром, мм		
		більше 0,63	0,63-0,063	менше 0,063
1	25,0	25,0-27,0	3,0-5,0	69,0-71,0
	30,0	34,0-36,0	4,0-6,0	60,0-62,0
	32,0	31,0-33,0	6,0-8,0	60,0-62,0
	35,5	39,0-41,0	11,0-13,0	48,0-50,0
	39,5	47,0-49,0	9,0-11,0	41,0-45,0
2	9,0	19,0-21,0	3,0-5,0	76,0-78,0
	10,5	23,0-25,0	4,0-6,0	71,0-73,0
	14,0	28,0-30,0	10,0-12,0	59,0-61,0
	17,5	29,0-31,0	7,0-9,0	62,0-64,0
3	18,5	56,0-59,0	5,0-7,0	36,0-38,0
	21,0+24,0	41,0-43,0	15,0-17,0	42,0-44,0
	27,0+29,0	40,0-42,0	16,0-18,0	42,0-44,0
4	13,0	3,0-5,0	3,0-5,0	92,0-95,0
	15,0+17,0	18,0-20,0	2,0-4,0	77,0-79,0
	19,0	12,0-14,0	6,0-8,0	80,0-82,0
	22,0+25,0	38,0-40,0	12,0-14,0	48,0-50,0
5	23,0	29,0-31,0	4,0-5,0	64,0-66,0
	25,0	22,0-25,0	4,0-5,0	71,0-73,0
	27,5	24,0-26,0	16,0-18,0	57,0-59,0
	31,5	24,0-26,0	16,0-18,0	57,0-59,0
6	5,0+6,5	32,0-34,0	8,0-10,0	58,0-60,0
	13,5	7,0-9,0	60,0-62,0	31,0-33,0
	15,5	13,0-15,0	11,0-13,0	73,0-75,0
	18,0	4,0-6,0	37,0-39,0	56,0-58,0

Аналіз одержаних результатів дозволив встановити, що більш високі показники білизни після збагачення та термообробки при 1250 °С мають каоліни, відібрані у верхніх шарах свердловин, так як коефіцієнт дифузного відбиття (КДВ) для цих проб складає, %: св. № 1/25 м – 79,9/85,8; св. № 2/9 м – 83,2/91,2; св. № 2/10,5 м – 81,1/86,5; св. № 4/15,5+17,0 м – 78,6/80,2; св. № 6/5 м – 73,8/87,5. При температурі прожарювання 700 °С для цих каолінів спостерігається різке зниження білизни, яке навіть менше аналогічного показника збагачених каолінів до випалу. При подальшому підвищенні температури до 1250 °С – білизна каолінів покращується. У каолінів нижніх шарів зі зростанням температури також спостерігається підвищення білизни.

Окрім того, практично в усіх свердловинах для глинистих матеріалів нижніх шарів після прожарювання при 1250 °С спостерігається появлення темних вкраплень у вигляді «мушки» різної інтенсивності, що свідчить про наявність залізовміщуючих домішок. Глинисті матеріали, відібрані в свердловині № 3, відрізняються зниженими показниками білизни як висушених збагачених проб, так і після їх прожарювання при зазначених температурах.

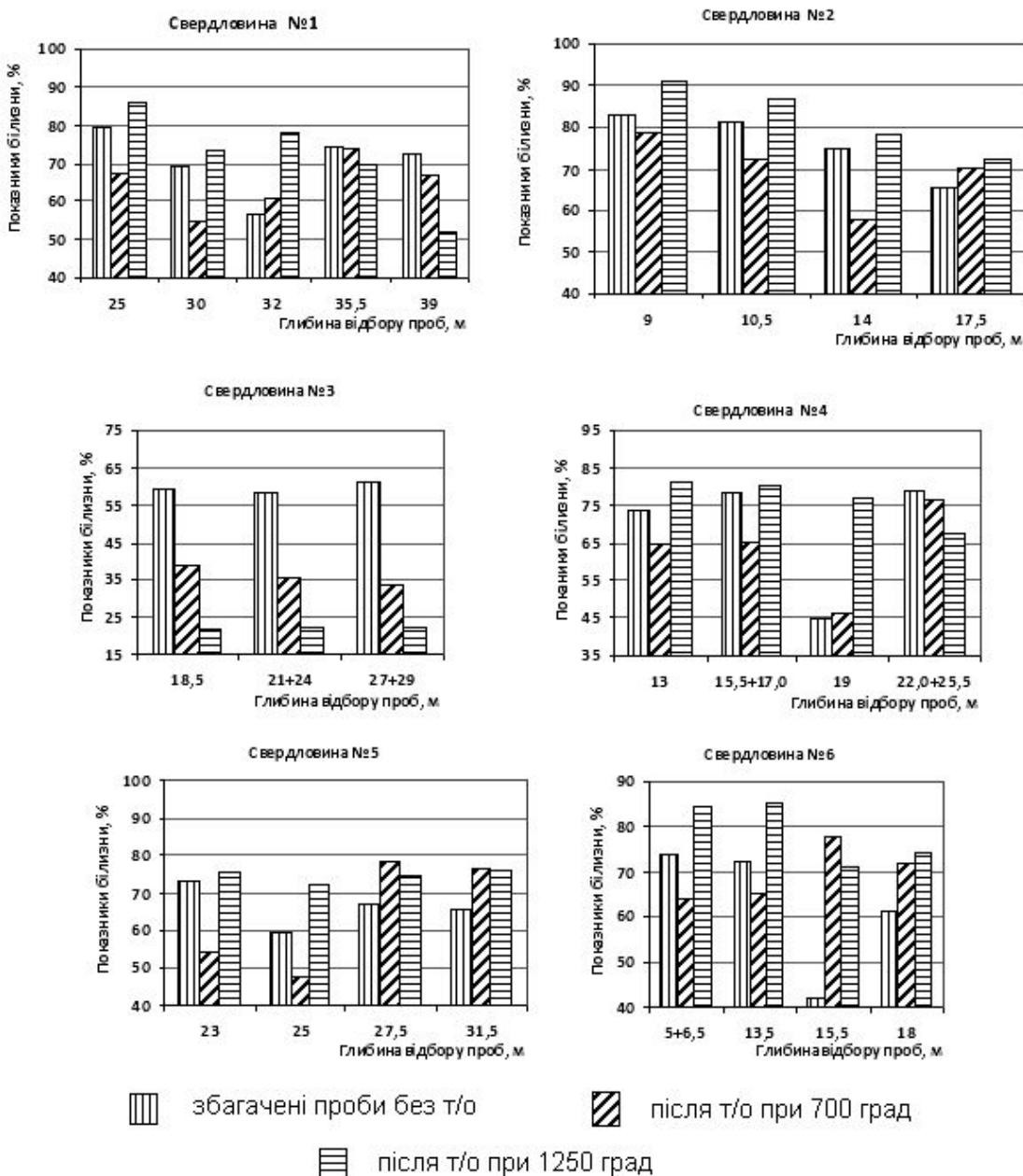


Рис. 4. Показники білизни (КДВ) дослідних проб каолінів

Отже, результати проведених досліджень показали, що каоліни Турбівського родовища, відібрані у різних свердловинах та на різних глибинах відрізняються за основними показниками, які треба враховувати при визначенні

можливості їх застосування.

Каоліни за відносно високим вмістом Al_2O_3 (27 – 30 мас. %), низьким $Fe_2O_3 + TiO_2$ (до 1,0 – 1,5 %), відібрані в верхніх шарах свердловин № 1/(25,0) м, № 2/(9,0 – 14,0) м, № 4/(13,0 – 17,0) м та № 5/(23,0 – 25,0) м, після збагачення можуть бути використані в масах для фарфоро-фаянсових виробів (побутового посуду, санітарної кераміки, тощо) [6].

Збагачення каолінів традиційним мокрим способом дозволить збільшити вміст Al_2O_3 до 33 – 34 %; особливо перспективні для збагачення каоліни зі св. № 1/(25,0 – 30,0) м, № 2/(9,0 – 10,5) м та № 4/(13,0 – 19,0) м, в яких вихід фракції менше 0,063 мкм складає відповідно 60 – 71 %, 71 – 78 % та 77 – 95 %.

Інтерес також представляють каоліни, відібрані в свердловинах № 1/(32 – 39,5 м), № 3/(18,5 – 29,0 м), № 4/(22,0 – 25,5 м) и № 7/(24,5 м), оскільки вони вміщують підвищену кількість оксидів калію та натрію (3,35 – 5,35 %). Такі каоліни можуть бути застосовані в незбагаченому вигляді в якості комплексної сировини для зниження температури випалу керамічних виробів [7]. Але внаслідок підвищеного вмісту в них забарвлюючих оксидів (Fe_2O_3 и TiO_2), їх можна використовувати у виробництві клінкерної цегли [8], черепиці або брусчатки в якості основного компоненту керамічної маси. Аналогічне застосування можуть знайти глинисті матеріали в незбагаченому вигляді, відібрані в районі св. № 3, що знаходяться на усіх глибинах.

Список літератури: 1. Каолины Украины: справочник / Под общ. ред. Ф.Д. Овчаренко. – К.: Наукова думка, 1982. – 366 с. 2. Солодкий Н.Ф. Щелочные каолины Урала / Н.Ф. Солодкий, М.Н. Солодкая, А.С. Шамриков // Стекло и керамика. – 2001. – № 6. – С. 28 – 29. 3. Горшков В.С. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В.С. Горшков. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с. 4. Викулова М.Ф. Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин / М.Ф. Викулова. – М.: Гос. научно-техн. изд. лит-ры по геологии и охране недр, 1957. – 445 с. 5. Юсупова А.А. Влияние степени кристалличности каолинита на спекание масс для санитарного фарфора / А.А. Юсупова // Труды НИИстройкерамики. – М.: Госстройиздат. – 1989. – Вып. 64. – С. 73 – 78. 6. Мороз И.И. Фарфор. Фаянс. Майолика / И.И. Мороз. – Киев: Техніка, 1975. – 351 с. 7. Коледа В.В. Исследование свойств щелочного каолина и возможности его использования в составе низкотемпературных фарфоровых масс / [В.В. Коледа, Т.А. Шевченко, Е.С. Михайлюта и др.] // Вестник НТУ "ХПИ". – 2004. – № 33. – С. 77 – 83. 8. Пат. 85355 Украина. МПК С 04 В 33/24 Сировинна суміш для виготовлення керамічних виробів / Коледа В.В., Михайлюта О.С. Алексеев Е.В., Цибулько Е С; № а 2008 07127; заявл. 22.05.08; опубл. 12.01.09, Бюл. № 1.

Надійшла до редколегії 20.08.2010

Ю.В. НАУМЕНКО, докт. техн. наук, доц., НУВХП, г. Ривне

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ ВНЕШНЕКАМЕРНОГО МНОГОСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Розглянуто задачу вибору режимів руху внутрішньокамерного завантаження барабаних млинів на основі концепції енергетичної селективності дезінтеграції. Прийнято безрозмірні комплексні критерії для оцінки продуктивності та енергетичної ефективності робочого процесу. Встановлено раціональні технологічні та конструктивні параметри млинів при реалізації зовнішньокамерної багатостадійності подрібнення.

The problem of a ball-tube intramill filling flow determination on the basis of disintegration energy selectivity conception is considered. The integral dimensionless criterions are used for grinding capacity and energy efficiency examination. The best process and design variables for multistage extrachamber milling effect are established.

Основным оборудованием многотоннажного тонкого измельчения материалов остаются традиционные барабанные мельницы. Радикально повысить чрезвычайно низкую эффективность измельчения в них можно лишь на основе принципа энергетической селективности измельчения. Применение такого подхода предполагает установление рациональных режимов движения внутрикамерной загрузки, как основного рабочего органа мельницы.

Существующие методы расчета барабанных мельниц основываются на концепции изолированного от окружающей среды отдельного элемента загрузки камеры, который движется под действием лишь массовых сил тяжести и центробежных сил инерции, а также реакции ограничивающей поверхности.

Однако дальнейшие исследования показали, что реальным режимом движения загрузки является трехфазный «смешанный» (рис. 1), в котором кроме твердотельной I и зоны несвободного падения II возникает третья зона сдвигового слоя III. На основе результатов эксплуатации помольного оборудования было установлено, что грубое измельчение крупных частиц с целью повышения эффективности процесса, целесообразно осуществлять преимущественно ударным действием при образовании больших импульсов, которые способствуют возникновению в материале предельного упругого деформирования.

А тонкое измельчение малых частиц целесообразно реализовывать преимущественно стиранием и раздавливанием при создании малых импульсов, которые способствуют возникновению пластического деформирования.

Целью исследования было определение рациональных режимов движения загрузки для повышения производительности и энергетической эффективности внешнекамерного многостадийного измельчения в таких мельницах.

Анализ режимов движения загрузки позволил установить характер реализации способов измельчения в барабанных мельницах [1]. Процесс измельчения преимущественно ударным действием осуществляется на границе перехода зоны несвободного падения и зоны сдвигового слоя. Основным процесс измельчения преимущественно стирающим действием осуществляется в верхней части сдвигового слоя в сдвиговом потоке, а преимущественно раздавливанием – в нижней части слоя при замедлении потока.

Кроме того, в нижней части твердотельной зоны могут иметь место локальные центры измельчения частичным раздавливанием (рис. 1).

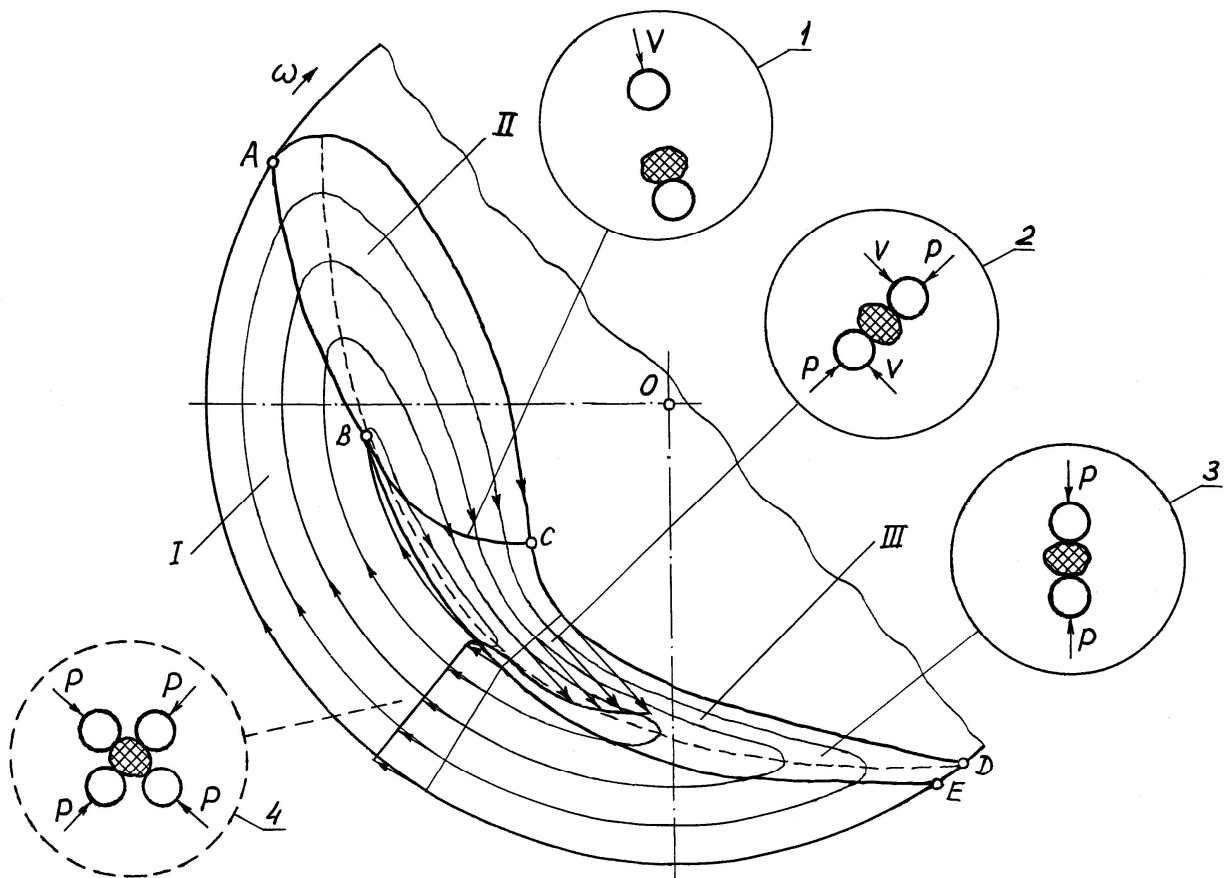


Рис. 1. Реализация способов измельчения в барабанной мельнице

Влияние режимов движения загрузки на процесс помола оценивалось безразмерными механическими характеристиками (табл.), где m , m_6 и m_3 – масса загрузки, баллистической II и сдвиговой III ее зон, кг; $t_{ц}$ – длительность цикла движения загрузки, с; ω – угловая скорость, 1/с; R – радиус камеры, м; g – гравитационное ускорение, м/с²; $V_{6с}$ – средняя скорость на границе II и III зон, м/с; $V_{3с}$ – средняя сдвиговая скорость нормального сечения в верхней части III зоны, м/с; V_{3max} – максимальная сдвиговая скорость на свободной поверхности сдвигового слоя, м/с; V_0 – скорость опорной поверхности сдвигового слоя,двигающегося вверх, м/с; h – толщина сдвигового слоя, м; W – мнимое суммарное вертикальное ускорение сдвигового слоя м/с²; M – действительный момент сопротивления, Нм; $M_{0,5max}$ – условный максимальный момент сопротивления при половинном заполнении, Нм.

Численное определение характеристик осуществлялось с помощью аналитико-экспериментального метода с использованием визуального анализа картин движения загрузки, полученных цифровой фотосъемкой.

Для оценки эффективности измельчения при ударном, стирающем и раздавливающем действии мелющих тел на частицы измельчаемого материала были использованы зависимости комплексных параметров от относительной скорости вращения ψ_{ω} (рис. 2), где d – средний размер мелющих тел, D – диаметр камеры барабана, κ – степень заполнения камеры загрузкой. Рациональные режимы выделены штриховкой.

Было оценено, также, влияние содержания частиц измельчаемого материала в загрузке на повышение эффективности многостадийного измельчения. Производительность помола оценивалась за значением просева через контрольное сито № 008, а энергетическая эффективность – за удельными затратами энергии при получении этого просева.

Численное значение изменения производительности оценивалось соотношениями Π_M/Π_T , где Π_M и Π_T – производительность помола для модернизированного и традиционного режимов, а изменения удельных затрат энергии – соотношениями $E_M/E_T=(N_M/\Pi_M)/(N_T/\Pi_T)$, где E_M и E_T – удельные затраты энергии, N_M и N_T – мощности привода для этих режимов.

Моделирование первой стадии грубого помола реализовывалось при $d/D = 0,02$, $\kappa = 0,45$, степени заполнения частицами измельчаемого материала промежутков между мелющими телами $\kappa_{мп} = 0,75$ и 1 , $\psi_{\omega} = 0,95$.

Моделирование последней стадии тонкого помола – при $d/D = 0,022$, $\kappa = 0,25$, $\kappa_{мп} = 0,25$ и $0,5$, $\psi_{\omega} = 0,35$.

Таблица

Механические характеристики движения загрузки

Название	Обозначение	Математическое выражение	Характеризуемые параметры	Тип
Степень баллистической активации	$K_{ба}$	$\frac{m_б}{m}$	Измельчение ударным действием	Массовый
Степень сдвиговой активации	$K_{за}$	$\frac{m_з}{m}$	Измельчение истированием	Массовый
Степень присоединения	$K_{п}$	$\frac{m - m_б - m_з}{m}$	Измельчение раздавливанием	Массовый
Оборачиваемость	$K_о$	$\frac{2\pi}{t_{ц} \cdot \omega}$	Производительность	Кинематический
Форсирование баллистической скорости	$K_{фб}$	$\frac{V_{бс}}{\sqrt{R \cdot g}}$	Измельчение ударным действием	Скоростной
Форсирование сдвиговой скорости	$K_{фз}$	$\frac{V_{зс}}{\sqrt{R \cdot g}}$	Измельчение раздавливанием	Скоростной
Градиент сдвиговой скорости	$K_{г}$	$\frac{V_{з max} + V_0 }{h} \cdot \sqrt{\frac{R}{g}}$	Измельчение истированием	Кинематический
Удельная энергия баллистической массы	$E_б$	$\frac{V_{бс}^2}{R \cdot g}$	Измельчение ударным действием	Энергетический
Удельная энергия сдвигового слоя	$E_з$	$\frac{V_{зс}^2}{R \cdot g}$	Измельчение раздавливанием	Энергетический
Температура среды сдвигового слоя	T	$\left(\frac{V_{з max} + V_0 }{h}\right)^2 \cdot \frac{R}{g}$	Измельчение истированием	Энергетический
Динамичность активации	$K_{д}$	$\frac{W}{g}$	Измельчение истированием	Динамический
Относительный момент	$\psi_{M0,5}$	$\frac{M}{M_{0,5 max}}$	Измельчение ударным действием	Силовой
Относительная мощность	$\psi_{N0,5}$	$\frac{M \cdot \omega}{M_{0,5 max} \sqrt{\frac{g}{R}}}$	Производительность	Энергетический
Число Фруда	Fr	$\frac{\omega^2 \cdot R}{g}$	Измельчение раздавливанием	Динамический

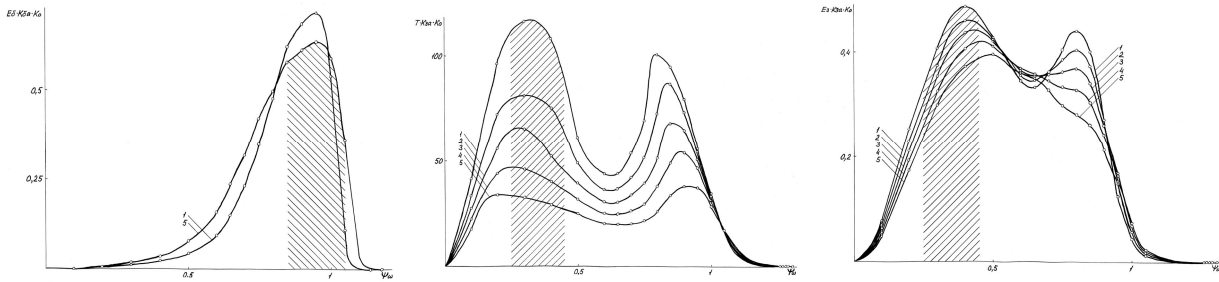
Для традиционного режима принималось $\psi_{\omega} = 0,75$. Длительность измельчения составляла 30 минут. Результаты приведены на рис. 3.

Ударное действие
($d/D = 0,022$,
волнистая камера)

Истирание
($d/D = 0,0024$, гладкая камера)

Раздавливание

Условная производительность измельчения

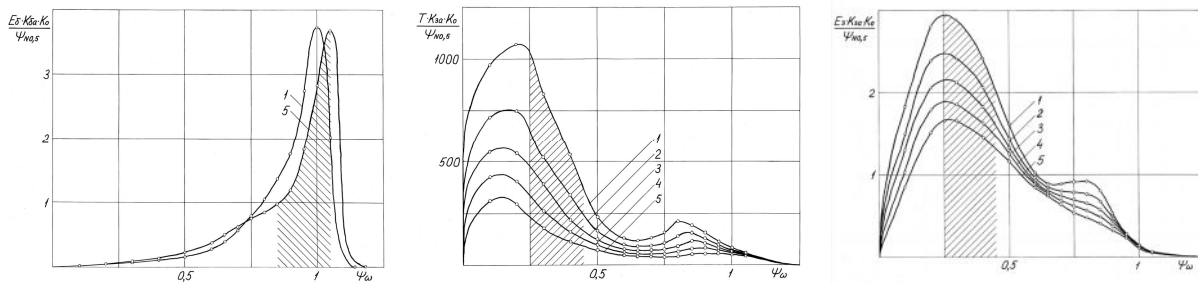


Зависимости
 $E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0$ от ψ_{ω}

Зависимости
 $T \cdot K_{3a} \cdot K_0$ от ψ_{ω}

Зависимости
 $E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0$ от ψ_{ω}

Условная удельная производительность измельчения

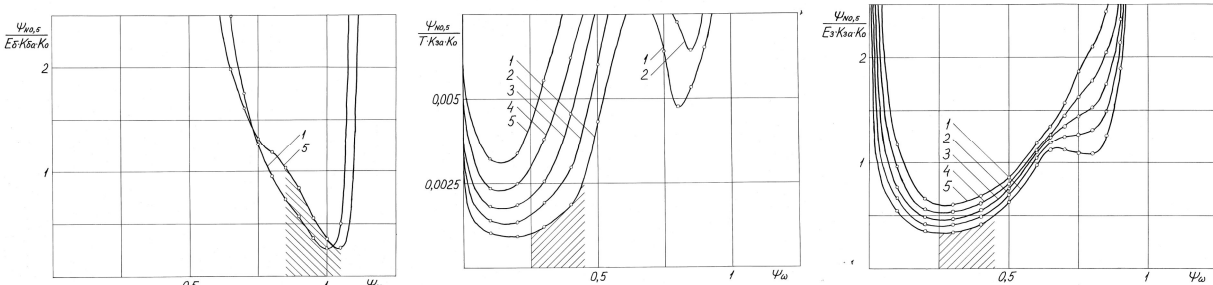


$(E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0) / \psi_{N0.5}$ от ψ_{ω}

$(T \cdot K_{3a} \cdot K_0) / \psi_{N0.5}$ от ψ_{ω}

$(E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0) / \psi_{N0.5}$ от ψ_{ω}

Условная удельная энергоёмкость измельчения



$\psi_{N0.5} / (E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0)$ от ψ_{ω}

$\psi_{N0.5} / (T \cdot K_{3a} \cdot K_0)$ от ψ_{ω}

$\psi_{N0.5} / (E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0)$ от ψ_{ω}

Рис. 2. Комплексные характеристики для оценки эффективности помола для 1 – $\kappa = 0,25$, 2 – $\kappa = 0,3$, 3 – $\kappa = 0,35$, 4 – $\kappa = 0,4$, 5 – $\kappa = 0,45$.

Таким образом, рациональными режимами реализации первой стадии грубого измельчения являются – $\psi_{\omega} = 0,85 - 1,05$, $\kappa = 0,45$, $d/D = 0,015 - 0,04$, а последней стадии тонкого измельчения – $\psi_{\omega} = 0,25 - 0,45$, $\kappa = 0,25$, $d/D = 0,002 - 0,01$ [2].

С увеличением содержания материала в загрузке эффективность первой стадии возрастает по производительности и энергоёмкости, а с уменьшением содержания – эффективность последней стадии возрастает по энергоёмкости.

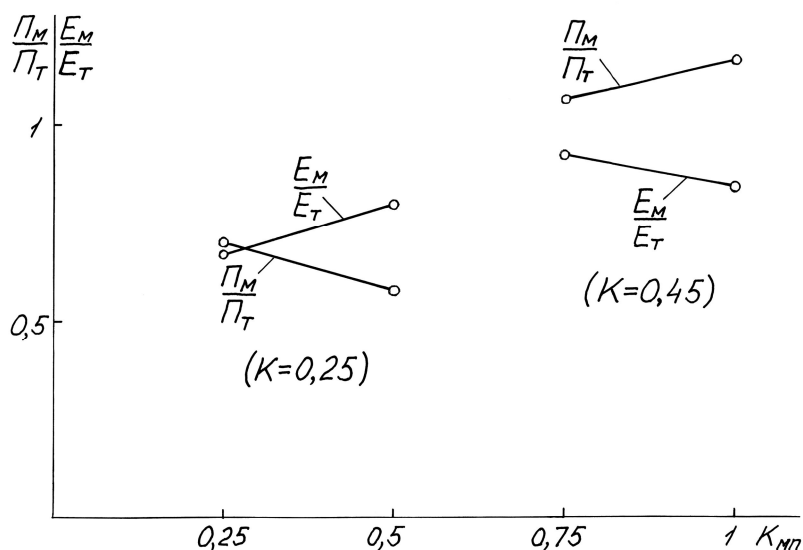


Рис. 3. Зависимости $\frac{P_M}{P_T}$ и $\frac{E_M}{E_T}$ для различных k от $K_{МП}$

Список литературы: 1. Науменко Ю. В. Основы теории режимов работы барабанных млинів: монографія / Ю. В. Науменко. – Рівне: Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 282 с. 2. Науменко Ю. В. Рекомендації до розрахунку, проектування та експлуатації барабанных млинів багатостадійного подрібнення / Ю. В. Науменко. – Рівне: Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 88 с.

Поступила в редколлегию 20.08.10

УДК 541.183:622.33 + 622.693

С.Д. БОРУК, канд. хим. наук, доц., ЧНУ, г. Черновцы, Украина

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ УГЛЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОМОЛА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

В статті досліджено вплив природи вихідної вугільної сировини та властивостей дисперсійного середовища на умови подрібнення при отриманні висококонцентрованих вугільних суспензій. Запропоновано технологічний режим отримання рідкого вугільного палива в залежності від ступеня метаморфізму вугілля та складу дисперсійного середовища. Встановлено що наявність у дисперсійному середовищі органічних домішок призводить до підвищення інтенсивності подрібнення частинок дисперсної фази.

In the article investigational influence of nature of coal feedstock and properties of dispersible environment on the terms of growing shallow at the receipt of visokokoncentrovannikh coal suspensions. The technological mode of receipt of coal oil-fuel is offered depending on the degree of metamorfizmu of coal and to composition dispersible environment. It is set that a presence in the dispersible environment of organic admixtures results in the increase of intensity of growing of particles of dispersible phase shallow.

Рациональным и экологически безопасным направлением применения углей разной степени метаморфизма и отходов его обогащения как топлива является получение на их основе высококонцентрированных суспензий для непосредственного сжигания в котлоагрегатах [1 – 3]. Как показали исследования при сжигании угля в виде суспензий выбросы оксидов азота, серы и угарного газа сокращаются на 30 % [4], по сравнению со сжиганием угля в виде пыли. Кроме того, удается достичь более полного выгорания органической составляющей топлива [4 – 6]. Высококонцентрированные угольные суспензии должны иметь низкую вязкость и высокую устойчивость суспензий. Известно [3, 5, 6], что оптимальными характеристиками обладают системы, характеризующиеся бимодальным распределением частиц по размерам, причем размеры мелкой фракции должны находиться в пределах 20 – 40 мкм, крупной фракции 150 – 200 мкм. За счет достижения более плотной упаковки и применения разработанных химических добавок такие системы приобретают высокую седиментационную устойчивость и характеризуются незначительной вязкостью.

Существующие технологии получения высококонцентрированных суспензий предусматривают проведение в мельнице мокрого помола угля по одностадийной и двухстадийной схемах [1 – 3, 7, 8]. В работе исследовано влияние природы угля и дисперсионной среды на процесс его измельчения при получении угольных суспензий.

Как объект исследования нами использовались:

– отходы гидрообогащения (пески гидроциклона) угля марки “Г”. Черный порошок, зольностью 42,5 %, влажностью 1,65 %. Размеры частиц 0,1 – 5 мм.

– бурый уголь марки «Б», Александрийского месторождения. Бурый порошок, зольностью 22,5 %, влажностью 14,3 %. Размеры частиц 0,1 – 5 мм

В качестве дисперсионных сред применяли воду, сточные воды коксохимического производства, этанол, бутанол, жидкие продукты пиролиза резины.

Был проведен ряд помолов по одностадийной и двухстадийной схемам, и проведен анализ свойств полученных систем (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительные характеристики шламоугольных суспензий

Содержимое дисперсной фазы, %	Эффективная вязкость, Па·с	Седиментационная устойчивость, сутки
61	1,11 / 1,21	5,0 / 3,0
62	1,23 / 1,33	6,5 / 3,5
63	1,29 / 1,38	7,5 / 5,5
64	1,31 / 1,48	8,0 / 6,0
65	1,80 / 2,15	8,0 / 7,0
66	2,50 / 2,65	10,0 / 7,5
67	3,05 / 3,45	10,0 / 8,0

– во второй и третьей графах первое значение характеризует свойства суспензии полученной по одностадийной схеме, второе – по двухстадийной.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, увеличение концентрации дисперсной фазы приводит к увеличению вязкости дисперсных систем. Критическая концентрация твердой фазы суспензии при которой начинает резко возрастать ее вязкость составляет 65 – 66 %. Седиментационная устойчивость дисперсных систем возрастает при увеличении концентрации дисперсной фазы, вероятно за счет достижения более плотной упаковки частиц в системе.

Вместе с тем установлено, что вязкость дисперсных систем возрастает не только за счет возрастания объемной доли дисперсной фазы в ней, но и за счет изменения ее гранулометрического состава. Вероятно, при более плотной упаковке, измельчение шламов происходит не только под действием мельящих тел, но и при контакте между собой. Если учесть, что шламы уже подвергались интенсивному измельчению при проведении обогащения, то механическая прочность частиц шламов незначительна. Кроме того, высокое содержание минеральной составляющей (в данном случае глинистой) так же приводит к снижению механической прочности частиц шламов. Увеличение концентрации приводит к возникновению непосредственного контакта между частицами твердой фазы, что увеличивает интенсивность измельчения. При этом распределение частиц по размерам приближается к мономодальному (табл. 2).

Как видно из приведенных данных, увеличение концентрации дисперсной фазы больше 65 % при проведении помола приводит к интенсивному диспергированию твердой фазы. Для сохранения бимодального гранулометрического состава было бы целесообразно сократить время помола, но тогда

в системе могут оставаться частицы размерами 200 – 400 мкм. Наличие частиц такого размера неприемлемо, исходя из эксплуатационных характеристик шламоугольных суспензий.

Таблица 2

Распределение частиц дисперсной фазы шламоугольной суспензии по размерам

Границы фракций, (г, мкм)	Содержание фракции (масс. %); $C_{т.ф.} = 63 \%$	Содержание фракции (масс. %); $C_{т.ф.} = 65 \%$	Содержание фракции (масс. %); $C_{т.ф.} = 67 \%$
125-13,5	42,1 / 10,3	28,1 / 14,3	24,3 / 11,2
13,5-9,54	21,1 / 9,0	10,9 / 6,3	8,3 / 8,4
9,54-6,75	5,3 / 10,3	7,8 / 2,7	6,3 / 3,8
6,75-5,51	3,7 / 5,1	10,2 / 2,7	6,9 / 3,9
5,51-4,27	3,7 / 10,3	10,2 / 1,8	9,7 / 4,7
4,27-3,02	4,2 / 11,5	7,8 / 10,7	9,0 / 9,1
3,02-2,46	5,3 / 6,4	4,7 / 14,3	7,6 / 15,5
2,46-1,74	6,3 / 15,4	3,1 / 24,1	12,5 / 22,5
1,74-1,42	6,3 / 15,4	12,5 / 7,1	6,9 / 11,2
1,42-1,23	2,1 / 10,2	4,7 / 16,0	5,6 / 10,3

– во второй и третьей графах первое значение характеризует свойства суспензии полученной по одностадийной схеме, второе – по двухстадийной.

Как видно из приведенных данных характеристики систем, полученных при двухстадийном помоле несколько хуже, чем аналогичных систем, полученных одностадийным помолом. Вероятно, это связано с гранулометрическим составом дисперсной фазы. Полученные системы характеризуются значительным содержанием высокодисперсных частиц (табл. 2). Вместе с тем проведение двухстадийного помола более энергоемкое, и сложнее с точки зрения аппаратного оформления, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности применения двухстадийного помола при получении высококонцентрированных суспензий на основе шламов.

При создании суспензий на основе бурого угля с целью их транспортировки и непосредственного применения как топлива необходимо достичь максимальной концентрации топливной составляющей суспензии при сохранении ее незначительной вязкости и высокой седиментационной устойчивости. Исходя из физико-химических характеристик бурого угля возможно два пути применения энергетических добавок:

- непосредственное применение в качестве дисперсионной среды, или смешивание с водой, на которой проводится помол;

- модифицирование частиц бурого угля после предварительной просушки, путем заполнения внутренних пор частиц дисперсной фазы.

Были получены системы с концентрацией дисперсной фазы 30 %, на основе не модифицированного и модифицированного бурого угля. Установлено, что модификация дисперсной фазы этанолом, бутанолом и сивушными маслами мало влияет на вязкость получаемых систем по сравнению с холостым экспериментом. Данные системы характеризуются пониженной седиментационной устойчивостью, в первую очередь при применении модификаторов ограниченно растворимых в воде. Интенсивность помола при применении всех исследуемых веществ увеличивается, о чем свидетельствует гранулометрический состав полученных систем. Увеличение интенсивности измельчения, вероятно, проходит за счет увеличения адсорбционной составляющей расклинивающего давления, что позволило сократить время помола до 20 минут.

Проведение помола в сточных водах приводит к увеличению интенсивности измельчения частиц угольных шламов, по сравнению с системами, полученными на водопроводной воде. Вероятно, это связано с адсорбцией примесей, содержащихся в сточной воде, как на поверхности, так и порах, и микротрещинах частиц дисперсной фазы, что приводит к увеличению расклинивающего давления и диспергации крупных частиц и их агрегатов.

Проведенные исследования позволили предложить технологический режим получения жидкого угольного топлива на основе шламов углеобогащения, бурого угля и показали возможность его использования в качестве энергоносителя. Показана целесообразность получения и применения в качестве топлива высококонцентрированных угольных суспензий на основе сточных вод коксохимического производства. Установлен характер влияния степени метаморфизма угля на интенсивность процессов его измельчения при получении суспензионного угольного топлива. Показано, что в дисперсионных средах, содержащих примеси разной природы интенсивность помола угля возрастает.

Список литературы: 1. *Урьев Н.Б.* Высококонцентрированные дисперсные системы / *Н.Б. Урьев.* – М: Химия, 1980. – 360 с. 2. *Урьев Н.Б.* Закономерности структурообразования высококонцентрированных водоугольных суспензий / *Н.Б. Урьев* // Исследование гидромеханики суспензий в трубопроводном транспорте. – М.: ВНИИПИ гидротрубопровод, 1985. – С. 8 – 27. 3. *Макаров А.С.* Физико-химические основы получения высококонцентрированных водовугельных суспензий / *А.С. Макаров, Е.П. Олофинський, Т.Д. Дегтяренко* // Вестник АН УССР. – 1989. – № 2. – С. 65 – 75. 4. *Boruk S.* Environment Friendly Burning of the High-Sulfur Coal / [*S. Boruk, O. Yegurnov, I. Winkler,*

S. Gutt] // International coal preparation congress: conference proceedings. – 2010. – Published by Society for Mining, Metallurgy & Exploration. – P. 146 – 151. **5.** *Boruk S.* Highly concentrated water–coal suspensions: preparation from the coal concentration slurries, rheological and energetic characteristics / *S. Boruk, I. Winkler* // Polish journal of applied chemistry. – 2008. – Vol. LII, № 3 – 4. – P. 149 – 155. **6.** *Борук С.Д.* Вплив складу дисперсійного середовища на фізико–хімічні характеристики водо вугільного палива на умови його транспортування / *С.Д. Борук, І.А. Вінклер* // Промислова гідраліка і пневматика. – 2009. – № 3 (25). – С. 15 – 18. **7.** *Щукин Е.Д.* Влияние жидкой среды на прочность и диспергируемость угля / *Е.Д. Щукин, С.И. Конторович, А.И. Бессонов, та інші*] // Коллоид. журн. – 1987. – № 4 – С. 728 – 737. **8.** *Филипенко Т.А.* О влиянии добавок разжижителей и гранулометрического состава водоугольных суспензий на их реологические свойства / *Т.А. Филипенко, В.Л. Басенкова, И.В. Ильинская* // Химия твердого топлива. – 1989. – № 5. – С. 104 – 109.

Поступила в редколлегию 14.07.10.

УДК 546.650 : 544.142.3 : 546.175

Д.О. СТОРОЖЕНКО, канд. хім. наук, доц.;

О.Г. ДРЮЧКО, канд. хім. наук, доц.;

І.О. ІВАНИЦЬКА, канд. хім. наук, доц.;

Н.В. БУНЯКІНА, канд. хім. наук, доц.; ПНТУ, м. Полтава

ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НА ПІДГОТОВЧИХ СТАДІЯХ ПРИ СИНТЕЗІ ОКСИДНИХ РЗЕ-ВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Комплексом фізико-хімічних методів вивчені природа й закономірності температурних перетворень (25 – 1000 °С) структурних компонентів у системах нітратів рідкісноземельних елементів і елементів ІА групи періодичної системи. Виявлено ряд особливостей у їх сукупній поведінці.

By complex of physical-chemical methods the nature and regularity of temperature changes (25 – 1000 °C) of structural components in systems nitrate of rare earth elements (REE) and elements of IA group in periodic system were investigated. A number of peculiarities in their mutual behaviour was found.

Виявлення у оксидних РЗЕ-вмісних сполуках зі структурою граната, перовскіта наборів унікальних властивостей – орієнтаційних фазових переходів, доменної структури, оптичної активності, величезної магнітної анізотропії і магнітострикції, вдале поєднання оптичних, теплофізичних і механічних

властивостей, інших відкриває широкі перспективи їх використання. Вони мають дуже складну структуру і у технологічному відношенні представляють собою складні об'єкти, що нині інтенсивно досліджуються.

На сьогодні сформульовані загальні принципи відносно розподілу катіонів по кристалографічним місцям їх структури та виявлені великі можливості ізоморфних заміщень.

З'ясовуються способи керування параметрами спеціальних матеріалів за рахунок вибору складу, умов синтезу і наступної обробки.

Широта функціональних завдань, принципів і способів їх вирішення, відсутність матеріалів, що повністю задовольняють усьому комплексу технічних і технологічним вимог, сумісності зумовлюють відсутність універсальних методів їх розв'язку.

Одержання сучасних нанорозмірної / наноструктурної кераміки, матеріалів високої міцності передбачають використання нанодисперсних порошків, а це у свою чергу підвищує інтерес до низькотемпературних методів їх одержання хімічними методами з використанням солеподібних іонних і молекулярних координаційних прекурсорів.

Пошук нових технологічних схем одержання сучасних спеціальних, функціональних оксидних РЗЕ-вмісних матеріалів з використанням ряду різноманітних методик й комплексних технологій передбачає знання взаємної поведінки структурних компонентів в широких температурних інтервалах і повних концентраційних співвідношеннях, використання вихідних речовин високої чистоти і застосування досконалих способів їх змішування.

Одними із найбільш перспективних серед них є хімічні бездифузійні методи синтезу, які мають ряд переваг у порівнянні із традиційною керамічною технологією синтезу.

В них змішування вихідних реагентів (розчинних солей відповідних металів чи їх кристалогідратних форм), взятих у необхідних пропорціях, відбувається при сумісному виділенні продукту із рідкої фази (методи термічного розкладання солей, (можливе використання плавлення у кристалізаційній воді), послідовного чи сумісного осадження компонентів у вигляді гідроксидів чи інших нерозчинних сполук із рідких розчинів; при розпиленні; використанні координаційних сполук у якості прекурсорів).

Таке молекулярне перемішування збільшує активність маси, знижує вимоги до їх якості подрібнення і гомогенізації, покращує технологічні характеристики, приводить до покращення наступного спікання і стабілізації влас-

тивостей продукту синтезу.

Процес одержання цільового продукту проходить через ряд стадій і супроводжується утворенням цілого ряду проміжних фаз.

Знання про їх склад, умови утворення й існування, властивості, особливості і закономірності перетворення дають можливість керувати вказаними процесами і проводити його направлений синтез.

Дане повідомлення є узагальненням нових відомостей про сукупну поведінку структурних елементів у багатокомпонентних нітратних РЗЕ-вмісних системах; періодичність, особливості і відмінності у властивостях їх сполук, що нині широко використовуються у синтезах, технологічних регламентах одержання матеріалів з особливими фізичними властивостями на їх основі.

У роботі для оцінки можливості керування вказаними процесами і одержання матеріалів із заданими властивостями у якості модельних вивчені системи $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 - \text{MeNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$, де Ln – Y, La – Lu; Me – Li – Cs – компоненти системи, які задають технічні характеристики продукту синтезу або використовуються у якості добавок мінералізаторів чи модифікуючих фізичні властивості.

Дослідження гетерогенних рівноваг, процесів взаємодії компонентів у рідкій фазі при 25 – 100 °С проведені комплексом фізико-хімічних методів.

Встановлені кількість, склад, температурні і концентраційні межі кристалізації фаз, що утворюються, характер їх розчинності, побудовані фазові діаграми розчинності систем.

У системах виявлені відмінності у комплексоутворюючій здібності елементів церієвої та ітрієвої підгруп, а також серед РЗЕ в середині першої підгрупи.

Системи характеризуються утворенням цілого класу аніонних координаційних сполук. Концентраційним межам насичених розчинів, із яких виділяються комплексні нітрати, відповідають склади нонваріантних точок відповідних ізотерм розчинності.

Встановлені можливі види сполук.

Всі вони синтезовані у монокристалічному вигляді.

Проведено системне вивчення їх будови, форми поліедрів, типів координації ліганд, можливі способи просторового упакування, ряду їх властивостей. Визначені межі їх ізостехіометричності та ізоструктурності по рядам Y, La – Lu, Li – Cs.

Виявлено, що координаційні нітрати рідкісноземельних і лужних елеме-

нтів, що кристалізуються із водних розчинів, розплавів, налічують понад 60 представників і утворюють, як доказано рентгеноструктурним аналізом, 13 груп ізотипних за будовою сполук.

За допомогою дериватографу і розробленого пристрою для ДТА із застосуванням РФА й елементного аналізу до 1000 °С прослідковані теплові перетворення кожного з них.

Значення температур виявлених ефектів, їх характер, природа систематизовані і зведені в таблиці.

Таблиця

Температури перетворення представників ізоструктурних груп координаційних нітратів РЗЕ, Y

Сполуки	Представники	Дегідратація	Плавлення у кристалізаційній воді	Поліморфні переходи	Плавлення безводної форми
$\text{Li}_3[\text{Ln}_2(\text{NO}_3)_9]3\text{H}_2\text{O}$	La – Nd*	65, 183, 216	183	–	274
$\text{Na}_2[\text{Ln}(\text{NO}_3)_5]\text{H}_2\text{O}$	La – Nd*	81, 148, 236	–	271	328
$\text{K}_2[\text{Ln}(\text{NO}_3)_5(\text{H}_2\text{O})_2]$	La – Nd*	95, 111	95	219	314
$\text{K}_3[\text{Ln}_2(\text{NO}_3)_9]\text{H}_2\text{O}$	La – Sm*	126	–	–	347
$\text{K}[\text{Ln}(\text{NO}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]$	Y, Gd – Lu**	138, 172	138	–	–
$\text{Rb}[\text{Ln}(\text{NO}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]\text{H}_2\text{O}$	Y, Gd – Lu***	77, 190, 256	77	–	–
$\text{Cs}[\text{Ln}(\text{NO}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]\text{H}_2\text{O}$	Y, Gd – Lu***	93, 170, 240	93	–	–

* – дані для представників церієвої підгрупи – (координаційні сполуки Nd);

** , *** – дані для представників ітрієвої підгрупи – (відповідно координаційні сполуки Gd, Yb)

Одержані дані дозволяють проводити ідентифікацію фаз.

Встановлено ряд особливостей та закономірностей. Робиться їх обґрунтування з позицій конкуруючих процесів.

Виходячи із особливостей технологічних процесів одержання оксидних матеріалів, становлять інтерес області концентраційних співвідношень компонентів, яким відповідають на фазових діаграмах поля кристалізації вихід-

них нітратів РЗЕ, координаційних сполук, їх сумішей.

Одержані політермічні діаграми розчинності систем в температурному діапазоні існування розчинів наочно ілюструють складність характеру взаємодії між структурними компонентами у досліджених об'єктах, стадійність перетворень та вказують на достатню чутливість й ефективність застосованого комплексу експериментальних методів для вирішення таких завдань.

Механізм комплексоутворення можна пояснити з позицій конкуруючих заміщень молекул води у найближчому оточенні Ln^{3+} на NO_3^- -групи та впливу на ці процеси природи центрального атома-комплексоутворювача, розупорядковуючої дії на структуру розчинів наявних однозарядних катіонів $\text{Li}^+ - \text{Cs}^+$, концентрації і характеру теплового руху структурних елементів.

На процеси комплексоутворення виявлено значний вплив температурного фактора, необхідність певної енергії активації для таких перетворень, їх стадійність.

Встановлені закономірності і особливості у сукупній поведінці структурних елементів у вивчених системах вказують, що протікаючі конкуруючі реакції є сильнодіючим технологічним фактором суттєво впливаючим на зміну активності структурних форм Ln.

Результати температурних досліджень нових твердих фаз, виявлених у системах (таблиця), свідчать про різний характер процесів перетворення сполук РЗЕ церієвої і ітрієвої підгруп, низько- і високотемпературних форм сполук „легких лантаноїдів”.

Термограми сполук елементів першої підгрупи характеризуються утворенням безводних нітратів.

Із сполук з однойменним зовнішньосферним катіоном більш термостійкі нітрати з більшим вмістом лантаноїду.

Встановлений факт наявності поліморфізму у кристалах сполук складу $\text{Me}_2[\text{Ln}(\text{NO}_3)_5]$ (Me – Na, K; Ln – La – Sm).

Явище можна пояснити тим, що у кристалах виникає розупорядкування, зумовлене доступністю реалізації декількох відмінних орієнтацій іонів NO_3^- .

Цей вид розупорядкування можливий в силу симетричності як самого плоского NO_3^- -ліганду, способу координації їх центральним атомом Ln^{3+} -комплексоутворювача, так і способу упаковки комплексів у просторову будову.

Розгляд поліморфного перетворення в інших ізостехіометричних сполуках NH_4^+ , Rb^+ , Cs^+ обмежується природою Ln^{3+} , різною роллю H_2O у коор-

динаційному насиченні іону-комплекс-утворювача, а також температурним інтервалом, в межах якого спостерігається температурна нестійкість сполук.

Встановлено, що всі вказані нітрати мають одну розупорядковану фазу, але жодна пара з них не виявляє повністю аналогічну фазову поведінку, що відображає їх чутливість до розміру зовнішньосферного катіону.

Температурні властивості сполук ітрієвої підгрупи характеризуються відсутністю стійких безводних форм нітратів, низькими значеннями температур плавлення, дегідратацією із розплавленого стану.

Склад продуктів термічного перетворення (порядку 980 °C) залежить від складу вихідних нітратів, ступеню летючості оксидів відповідних лужних металів. У продуктах термолізу сполук літію, натрію, калію, крім оксидів Me_2O , містяться також їх диоксолантаноїдати $MeLnO_2$. У продуктах розкладання сполук рубідія, цезія виявлені тільки Ln_2O_3 .

Висновки

Комплексом фізико-хімічних методів вивчені природа й закономірності температурних перетворень (25 – 1000 °C) структурних компонентів у системах нітратів рідкісноземельних елементів і елементів ІА групи періодичної системи.

У гетерогенних водно-сольових системах із збільшенням енергії активації нагріванням посилюється комплексоутворююча здатність Ln.

Конкуруючі процеси заміщення молекул H_2O на NO_3^- -групи в оточенні Ln^{3+} створюють умови до утворення відповідних високосиметричних комплексів.

Різні способи їх просторового упакування з іншими структурними елементами у процесі кристалізації призводять до виділення із рідкої фази аніонних координаційних сполук певного складу й структури.

У системах простежуються відмінності у комплексоутворюючій здатності елементів церієвої та ітрієвої підгруп, а також серед „легких” лантаноїдів.

Вивчені термічні перетворення виявлених координаційних нітратів РЗЕ та їх вихідних складових.

Комплексний аналіз продуктів нагрівання дозволив систематизувати закономірності зміни їх властивостей при ізовалентних заміщеннях по рядах Y, La – Lu; Li – Cs; на границях ізоструктурності.

Одержані дані служать науковою базою для з'ясування природи послідовних температурних перетворень у нітратних РЗЕ-вмісних системах у різ-

них агрегатних станах у ході термообробки й одержання цільового продукту при синтезі функціональних матеріалів з особливими властивостями й спеціального призначення на їх основі.

Надійшла у редколегію 14.06.10

УДК 621.928.9

В.А. БАТЛУК, докт. техн. наук, проф., НУ «Львівська політехніка»,
Н.М. ПАРАНЯК, пошукач, НУ «Львівська політехніка», м. Львів
М.М. БАСОВ, пошукач, ДУ безпеки життєдіяльності, м. Львів

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ ПРИ РОЗМЕЛЕННІ, РОЗДІЛЕННІ ТА ЗМІШУВАННІ МАТЕРІАЛІВ

В статті наводиться аналіз існуючих апаратів пилоочищення з точки зору енергоємності. Доведена необхідність використання нових принципів конструювання таких апаратів, що і було використано автором. Запропоновано принципово нові типи апаратів двоступеневої очистки, які дозволяють підвищити ефективність вловлення пилу і зменшити енергоємність.

In the article is brought the analysis over of existent vehicles of clean dust from the point of view energy. Led to necessity of the use of new principles of constructing of such vehicles, that it was used by an author. New types of vehicles of the two level cleaning, which allow to promote efficiency of catching of dust and decrease energy, are offered of principle.

Постановка проблеми.

Щорічно, внаслідок господарської діяльності людства, утворюються десятки мільйонів тон промислових відходів у вигляді токсичних газів, які викидаються в атмосферу, і твердих техногенних продуктів, що забруднюють повітряне середовище. Це призводить до глибоких негативних тенденцій в екологічній ситуації і складає фундаментальну проблему сучасності, на рішення якої направлені, зусилля всіх розвинених країн світу.

Аналіз останніх досліджень.

Сьогодні в Україні при зменшенні загального техногенного навантаження на оточуюче середовище сумарні надходження забруднюючих речовин

складають 900 млн. т на рік. Якщо в 1989 розміри щорічних втрат в Україні від забруднення навколишнього середовища склали 15 – 20 % валового прибутку, то в 1995 році – вже 35 % і досягли найвищого питомого забруднення на одиницю території в Європі (дані Швейцарського міжнародного інституту менеджменту оточуючого середовища), а вагомий внесок в ці цифри вносить будівельна індустрія.

Існуючі засоби для вловлення пилу від технологічного обладнання виробництва будівельних матеріалів і конструкцій недостатньо ефективні і економічні. На сьогоднішній день ця проблема залишається невирішеною і з кожним роком нагромаджується ряд першочергових задач, однією з яких є попередження і ліквідація шкідливих викидів різних машин для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій в атмосферу.

Постановка проблеми.

Для вирішення цієї задачі необхідні комплексні наукові дослідження по визначенню фізико-механічних, електричних і хімічних властивостей пилу, його концентрації і розподілу у виробничій техносфері будівельної індустрії з урахуванням метеорологічних умов навколишнього середовища.

На основі цих досліджень потрібно провести теоретичне узагальнення і розробити теорію розділення гетерогенних систем в апаратах для очистки повітря від пилу, щоб на її основі сконструювати принципово нові типи пиловловлювачів з високою ефективністю пиловловлення, застосувавши нові принципи створення апаратів і агрегатів пилоочищення, що поєднують в одному апараті декілька рівнів очищення, заснованих на використанні відцентрових, інерційних і сил тяжіння або зміні фізичних параметрів пилу.

Розміщення в корпусі апарату жалюзійного відокремлювача, як другого ступеня пилоочищення, дозволяє значно збільшити ефективність пиловловлення, а акустична і магнітна коагуляція аерозолів, є одним з найбільш прогресивних методів швидкого збільшення субмікронних частинок промислового пилу, подальше вловлювання яких не складає проблеми.

Створення принципово нових апаратів сухого очищення повітря від пилу, які забезпечили б можливість високоефективного уловлювання полідисперсного пилу при зменшенні гідравлічного опору і розмірів установок являється предметом наших досліджень.

Виклад основного матеріалу.

Рух зважених частинок в турбулентному потоці газу відрізняється

складністю і інтенсивністю в усіх напрямках.

Це зумовлене тим, що частинки, якщо вони не дуже великі, реагують на безладні турбулентні пульсації середовища і разом з поступальним рухом з потоком здійснюють під їх впливом пульсаційний (коливальний) рух відносно молей газу, який їх переносить і також безладне переміщення разом з молями газу, що називається турбулентною дифузією частинок.

Як і рух молей газу, пульсаційний і дифузійний рухи частинок мають стохастичний (випадковий) характер і тому описуються статистично.

При нерівномірному русі стоксової частинки в середовищі, що знаходиться в стані спокою, крім сили опору, що описує явища, які відбуваються в даний момент часу поблизу поверхні частинки, потрібно враховувати додатковий опір, пов'язаний з витратою енергії на приведення в рух самого середовища.

У обмежених умовах істотне значення набуває взаємодія частинок одна з одною (безпосереднє, при зіткненнях, а також через несуче середовище) і з обмежуючими потік стінками апарату.

Зіткнення даної частинки зі стінкою або іншими частинками, наявність поперечного градієнта усередненої швидкості газу, неспівпадання центрів тяжіння частинок з центром прикладання сили аеродинамічного опору середовища, неоднорідності поля можуть спричинити обертальний рух їх.

Процес руху дрібних зважених частинок під дією відцентрової сили в турбулентному потоці складається з двох процесів:

а) безперервного руху частинок до стінки циклону всередині несучих їх пульсаційних молей

б) безладного у напрямі, частоті і амплітуді руху частинок разом з несучими їх пульсаційними полями.

Перший процес – безперервний рух частинок до стінки циклону, описується в стоксівському наближенні рівнянням, виведеним для випадку вільного руху частинок в стаціонарному ламінарному потоці.

Другий процес – безладне снування частинок разом з несучими їх пульсаційними молями представляє вияв турбулентної дифузії частинок, інтенсивність якої залежить, як і швидкість їх руху під дією відцентрових сили, від маси частинок.

Якщо частинки грубодисперсні, то процес їх руху під дією відцентрових сили складається інакше.

Володіючи високою відцентровою швидкістю, грубодисперсні частинки

в ході процесу руху не залишаються всередині вихідного моля газу, а покидають його і перетинають безліч інших молей, що випадково зустрілися.

Руйнування крупномасштабних турбулентних вихорів дозволяє апроксимувати рух пилогазового потоку макрохарактеристиками і дозволяє зробити висновок про можливість інтенсифікувати процес пилоочищення за рахунок встановлення всередині циклону жалюзійного відокремлювача, який інтенсифікує процес пилоочищення за рахунок трьох ефектів: первинного пилоосадження на поверхні жалюзі; руйнування крупномасштабних турбулентних вихорів при їх проходженні через жалюзі відокремлювача і зменшення енергії транспортування ними пилу; зменшення зворотного дифузійного потоку від стінки циклону.

Очищення повітря від пилу в розроблених нами апаратах проводиться таким чином (рисунок).

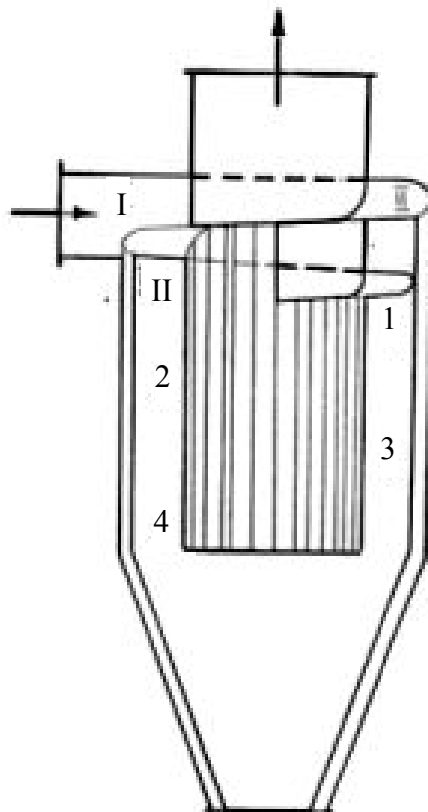


Рисунок – Пиловлівлювач (ЦН-11)

Введення запиленого повітря проводиться тангенціально у верхню частину апарату, де спочатку під дією відцентрових сил проводиться пошарове розділення потоку: великі (по розміру і масі) частинки аерозолі відкидаються до внутрішньої поверхні корпусу апарату і продовжують кругоподібний

рух, а дрібні рухаються колоподібно вздовж внутрішнього суцільного патрубку виведення очищеного повітря.

Для цього процесу, що доведено нашою теорією і підтверджено експериментальним шляхом, досить половини обороту потоку, тобто очищення повітря від пилу відбувається аналогічно циклону.

На ділянці III, додатково до цього процесу, вступає в дію повторне очищення повітря від пилу вздовж жалюзійного відокремлювача, який розміщений коаксиально до корпусу.

Повітряний потік обтікає жалюзі відокремлювача, повертається на кут більше 90° , але менше 180° і через отвори між ними виходить до патрубка виходу чистого повітря.

Дрібнодисперсні частинки пилу, які не виділені з потоку відцентровими силами, також підходять до відокремлювача, але внаслідок своєї інерції вони не встигають за повітрям, а стикаються з його жалюзі і, в залежність від місця попадання на них, вони або відкидаються до стінки корпусу і підхоплюються пиловим потоком, або знов підхоплюються повітрям, що йде на доочищення у відокремлювач, знов стикаються з жалюзі і так доти, поки не попадуть в пиловий потік, який рухається вздовж стінок корпусу апарату, який відтранспортує їх до пиловипускного патрубка.

Кількість зіткнень залежить від параметрів пилу (дисперсного складу, фізико-хімічних і морфометричних характеристик), повітряного потоку (швидкостей: входу в апарат, в корпусі апарату, проходження крізь жалюзійний відокремлювач, виходу з апарату), конструктивних особливостей жалюзі, що визначають кут атаки і площу живого перерізу.

Сумарний потік запиленого повітря в запропонованих апаратах, являє собою потік газу навколо вихрестокую зі спіральними траєкторіями току (логарифмічні спіралі) і є результатом накладення двох потоків: руху в корпусі апарату (аналогічно циклонам), що обертається – плоский вихор і руху повітря, що всмоктується через жалюзійний відокремлювач – плоский стік.

Вертикальна складова швидкості повітряного потоку не впливає на сепараційну здатність апарату тому, що рух повітря паралельно його геометричній осі, і тому розглядається плоска картина руху повітря в апараті.

Велика кількість різних конструкцій пиловловлювачів однакового призначення, які не мають чітких технічних характеристик, гальмує вибір схем очищення, а відсутність уніфікованого пилоочисного обладнання є перешко-

дою при розв'язанні питання організації його промислового впровадження.

Для усунення цього недоліку автори згідно єдиної методики порівняльних випробувань пиловловлювачів провели порівняльні випробування 15 найбільш розповсюджених типів циклонів при однакових енерговитратах, витратах повітря, продуктивності і тиску.

Ефективність виражена у вигляді відношення до величини винесення пилу з циклону ЦН-11.

Ці випробування підтвердили переваги циклонів ВЦННІОТ і насамперед циклону ЦН-11, який надалі прийнятий як еталон.

На основі теорії розділення гетерогенних систем шляхом дисипації крупномасштабних вихорів і математичної моделі процесу сепарації у відцентрово-інерційних пиловловлювачах, запропоновано 8 нових груп механічних апаратів конструкція яких захищена авторськими свідоцтвами і патентами.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

У кожному конкретному разі впровадження апарату для очищення повітря від пилу визначався дисперсний склад, фізико-хімічні і морфометричні характеристики пилу, після аналізу яких підбирався тип пиловловлювача.

Запропонований апарат спочатку досліджувався на експериментальному стенді і порівнювався з циклоном ЦН-11, аналізувалися результати і вирішувалися питання впровадження вибраної схеми очищення.

Список літератури: 1. Батлук В.А. Математичне моделювання траєкторії руху частинки пилу у пиловловлювачі з жалюзійним відокремлювачем / В.А. Батлук, Ю.Р. Дадак // Вестник НТУУ «КПІ». – 2008. – № 53. – С. 95 – 100.

Надійшла до редколегії 20.08.2010

А.В. БАШТА, канд. техн. наук, доц., НУХТ, г. Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ИНДЕНТИРОВАНИЯ

Приведено результати випробувань на твердість і тріщиностійкість поверхні зразків оксидної і безкисневої кераміки при індентуванні пірамідою Віккерса. По результатах досліджень, для характеристик пошкодження поверхні крихких матеріалів, пропонується використовувати криву пошкоджуваності, що показує як змінюється величина відношення H_v / K_{Ic} від довжини тріщини індентування.

The results of hardness and fracture strength tests by means of indentation with Vickers's pyramid of oxide and oxygen-free sample surface of ceramics are given. Out from the results of test it's suggested to apply the damageability curve for damageability characteristics of brittle materials. Damageability curve shows how changes the value of relation H_v / K_{Ic} per length of indentation crack.

Постановка проблемы исследования. Анализ последних достижений и публикаций позволяет отметить особое внимание к вопросам, связанным с определением физико-механических свойств керамических материалов как у нас в стране, так и за рубежом. Однако отсутствие единой методологии оценки этих характеристик, широкий диапазон нагрузок, при которых проводятся испытания, довольно большой набор полуэмпирических зависимостей для определения их значений, а также не всегда полный и точный учет особенностей механизмов деформирования и разрушения приводит к тому, что даже для одного и того же материала расхождения в данных могут достигать 60 % и более [1, 2, 3, 4].

Цель работы. Комплексное исследование механического поведения конструкционной керамики при индентировании пирамидой Виккерса и определение особенностей изменения значений ее твердости и трещиностойкости в зависимости от действующей нагрузки.

Методика исследования. Для работы были отобраны (табл. 1) два материала на основе спеченного нитрида кремния с размером зерна (4 – 10) мкм, полученные по различным технологиям, один горячепрессованный карбид кремния с размером зерен до 20 мкм и три – на основе диоксида циркония с различным процентным содержанием стабилизирующих добавок оксида иттрия и магния. При этом размер зерен керамики, частично стабилизиро-

ванной оксидом иттрия Y_2O_3 , составлял 3...5 мкм, а оксидом магния MgO – соответственно 20...25 мкм.

Таблица 1

Физико-механические характеристики исследуемых материалов

№ п/п	Наименование материала	Идекс мат-ла	Плотность, г/см ³	Стат. мод.упр ГПа	Дин. мод.упр ГПа	Предел прочн. МПа	Предел деформ. $\times 10^{-4}$ м/м	Мера хрупк.
1	(Si3N4)	НК-1	3,27	325	314	658	20,2	1,0
2	(Si3N4)	НК-2	3,29	296	284	531	17,9	1,0
3	(SiC)	КК-1	3,24	319	313	357	11,2	1,0
4	(ZrO ₂ +3%Y ₂ O)	ДЦИ-1	6,02	201	222	310	15,4	1,0
5	(ZrO ₂ +2,5%Y ₂ O)	ДЦИ-2	5,79	202	217	272	13,4	1,0
6	(ZrO ₂ +6%MgO)	ДЦМ-1	4,80	141	153	174	15,7	0,71

Данные исследования проводили на испытательной машине 1958УИ-10 с использованием модернизированного блока для испытаний керамики на изгиб, снабженного алмазным индентором Виккерса

Вычисление коэффициента интенсивности напряжений (1) проводили по полуэмпирической зависимости Ниихары, как наиболее соответствующей для такого рода материалов [5]:

$$K_{1c} = 0,203a^2 \cdot H_v \cdot c^{-3/2} \quad (1)$$

Твердость при индентировании пирамидой Виккерса поверхности исследуемого материала определяли по известной (2) зависимости :

$$H_v = 463,6 \cdot F \cdot a^{-2}, \quad (2)$$

где a – полудиагональ отпечатка индентора, H_v – твердость материала, c – длина радиальной трещины, F – нагрузка на индентор.

Результаты испытаний и их обсуждение. Определение твердости и трещиностойкости поверхности материалов представлены в виде зависимостей их значений от длины диагонали отпечатка или длины трещин, формирующихся в его углах.

На рис.1 показаны зависимости изменения твердости поверхности исследуемых материалов от длины диагонали отпечатка.

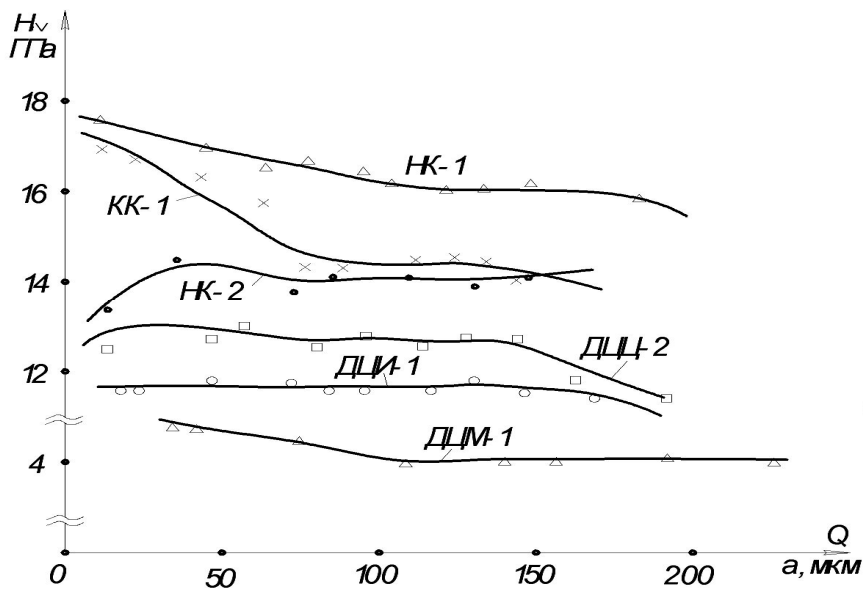


Рис. 1. Зависимость значений твердости от длины диагонали отпечатка индентора

Величина твердости керамики на участке стабилизации поведения кривой изменяется от 4 до 16 ГПа, при этом на ее начальном участке, который соответствует этапу перехода от нагрузок микротвердости ($P \leq 10H$) к твердости ($P > 10H$), это различие и того больше.

Следует также отметить, что на участке микротвердости поведение большинства материалов заметно отличается друг от друга.

Так для материалов ДЦИ-2 и НК-2 происходит увеличение значений H_v и наоборот для ДЦМ-1, НК-1 и КК-1 заметное их уменьшение, в то же время для ДЦИ-1 величина твердости остается практически неизменной. Такие же по характеру поведения участки кривых наблюдаются и на диаграммах, отражающих трещиностойкость исследуемых материалов (рис. 2).

Как и в случае с твердостью поверхности материалов, наглядно прослеживается область (от нуля приблизительно, до 100 мкм), в которой значения K_{1c} претерпевают наибольшие изменения, чаще всего это носит ярко выраженный ниспадающий характер.

После чего наступает замедление скорости падения значений K_{1c} с последующей, как отмечалось выше, их стабилизацией.

При дальнейшем увеличении нагрузки индентирования, как показывают экспериментальные исследования, снова наблюдается падение значений K_{1c} .

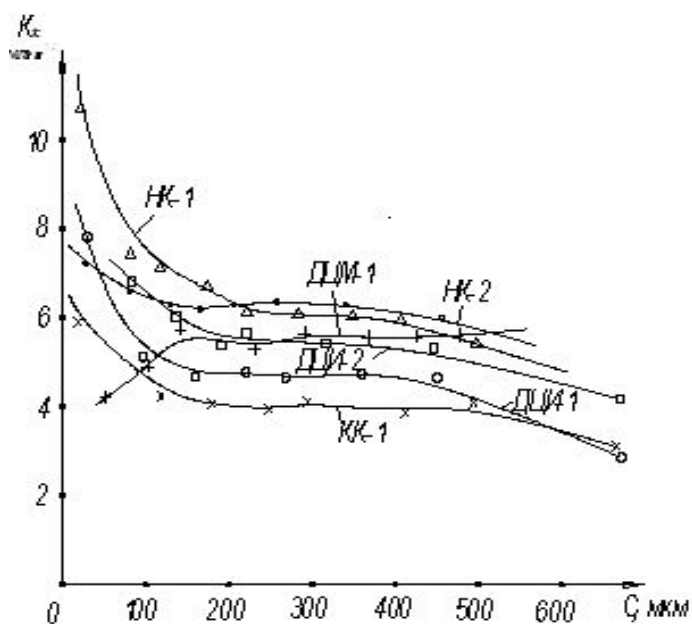


Рис. 2. Зависимость значений K_{1c} от длины радиальной трещины индентирования

Известно, что эти характеристики взаимосвязаны и, как уже отмечалось, их отношение определяет способность материала противостоять механическим повреждениям его поверхности. Поэтому кривую, характеризующую изменение отношения H_v/K_{1c} от длины трещины целесообразно назвать «диаграммой повреждаемости поверхности керамики». В дальнейшем для краткости – «диаграммой повреждаемости». На рис. 3 приведены кривые повреждаемости, показывающие зависимость отношения H_v/K_{1c} от величины дефекта (в нашем случае трещина индентирования) в материале.

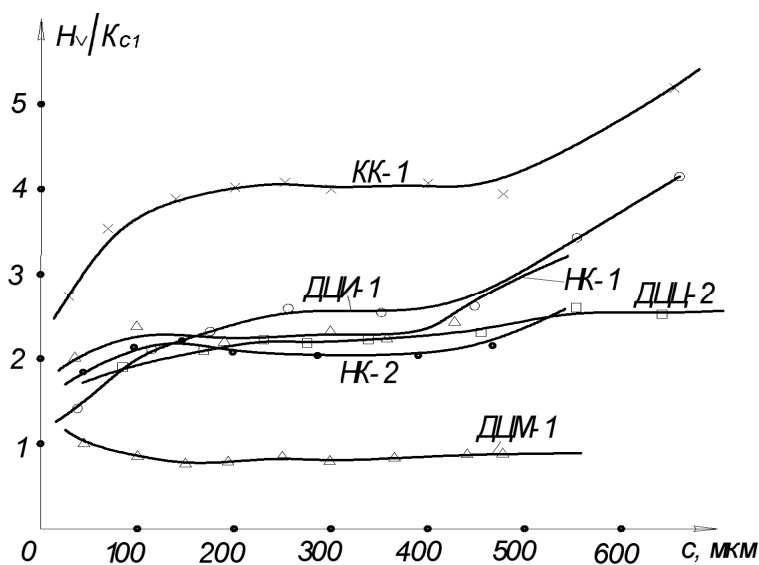


Рис. 3. Изменение кривых характеризующих повреждаемость поверхности керамических материалов при индентировании

Обращает на себя внимание участок диаграммы контролируемого увеличения или медленного «подрастания» длины трещины, где, вероятно, уравниваются действия механизмов деформирования и разрушения при идентификации способностью материала противостоять их развитию.

Для всех исследуемых керамических материалов определены такие участки на диаграммах повреждаемости.

Они практически параллельны по отношению к оси абсцисс. Продолжительность этих участков кривых различна и составляет (80 – 250) мкм. Вызывает интерес определение значений величины твердости и коэффициента интенсивности напряжений на участке неизменяемости их отношения на диаграмме повреждаемости поверхности материала (табл. 2).

Таблица 2

Усредненные данные экспериментальных исследований

Наименование материала	Нагрузка Р, Н	Длина полу-диагонали отпечатка А, мкм	Длина трещины, мкм ℓ^*	Твердость Н, ГПа	K_{1c} МПа/м ^{1/2}	$\frac{H_v \cdot 10^3}{K_{1c} \text{М}^{1/2}}$
НК-1	400	11,2	226,1	15,3	6,1	2,51
НК-2	400	116,8	215,0	13,6	6,2	2,19
КК-1	200	80,8	220,8	14,2	3,6	3,95
ДЦИ-1	300	111,4	237,8	11,3	4,1	2,76
ДЦИ-2	300	104,6	208,6	12,7	5,1	2,49
ДЦМ-1	400	216,3	144,6	4,0	5,5	0,71

ℓ^* – длина трещины от угла отпечатка (основания) до ее вершины

Учитывая постоянство этих характеристик на достаточно продолжительном участке медленного подрастания длины трещины, вероятно, следует предположить, что полученные значения твердости и трещиностойкости наиболее близко соответствуют истинным величинам исследуемых материалов.

Анализируя особенности поведения кривых повреждаемости (резкие возрастания, убывания на отдельных участках, схематически показанных на рис. 4).

Можем предположить, что это, вызвано различным характером процессов, происходящих в такого рода материалах.

Вероятно, здесь первый участок характеризует процессы, происходящие в отдельных частицах (или зернах).

Излом диаграммы при переходе от 1-го участка ко 2-му, по видимому,

соответствует завершению процесса формирования магистральных (транскристаллитных) трещин в материале.

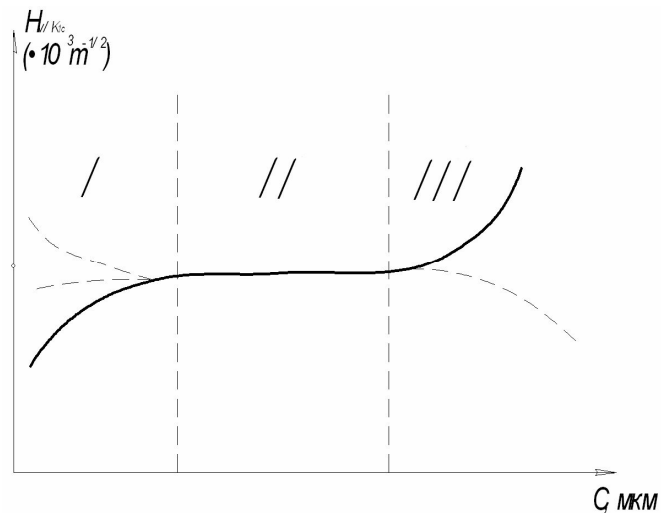


Рис.4 Схематическая диаграмма повреждаемости керамики при индентировании

Второй же излом, на рассматриваемой диаграмме повреждаемости, указывает на переход контролируемого, пропорционального нагружению, развития процессов деформирования и разрушения при индентировании к их лавинообразному нарастанию, т.е. фактически к потере материалом способности противостоять действию механизмов разрушения в зоне отпечатка.

Таким образом, переход к третьему участку диаграммы является наиболее опасным с точки зрения конструкционной прочности этих материалов, так как при достижении определенной величины размера дефекта (трещины) или действующей нагрузки процесс разрушения в них становится уже необратимым. Поэтому говоря о твердости и трещиностойкости конструкционной керамики необходимо представлять о какой области значений этих характеристик идет речь, то ли это рассматриваются процессы деформирования и разрушения на внутризеренном уровне, то ли речь идет об этих характеристиках материала как такового.

Поскольку разность в значениях исследуемых параметров, а также в особенностях деформирования и разрушения для этих материалов может быть достаточно существенной.

Следует также остановиться на особенностях процессов деформирования и разрушения, происходящих при индентировании изучавшейся керамики.

На рис. 5 приведены некоторые характерные виды деформирования и разрушения оксидной (5 а, б, в, г) и нитридкремниевой (5 д, е) керамики.

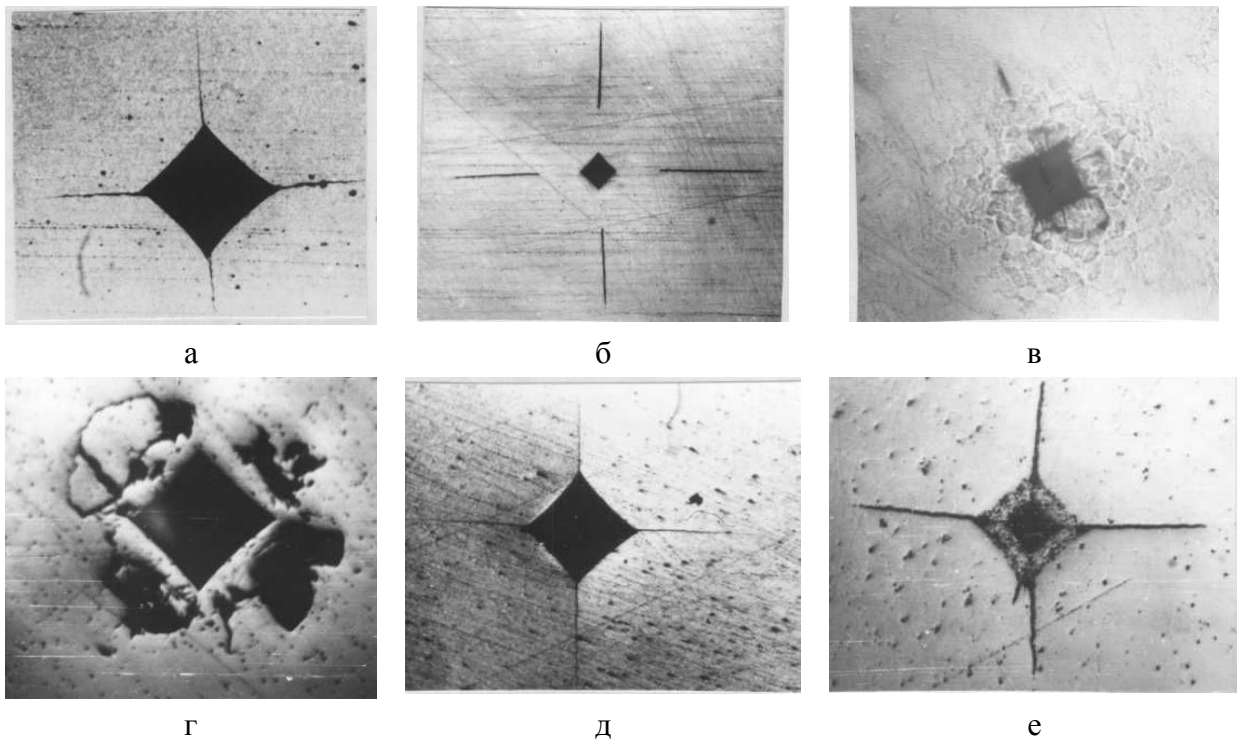


Рис. 5. Характерные виды отпечатков индентора и трещин в керамике:
 а, в, д – сразу после индентирования; б, г, е – после повторного полирования;
 а, б – частичностабилизированный окисью иттрия диоксид циркония;
 в, г – частичностабилизированный окисью магния диоксид циркония;
 д, е – нитрид кремния

В значительной мере отличительные особенности реакции материала на внедрение индентора становятся заметны после повторного полирования его поверхности. И если для диоксидциркониевой керамики, стабилизированной оксидом иттрия, при нагрузках до 600 Н, видимых изменений под индентором в материале не наблюдается (рис. 5 б). То для нитридкремниевой керамики НК-2, содержащей мелкодисперсную стеклофазу, под индентором образуется достаточно глубинная (в десятки раз превышающая глубину самого отпечатка) зона микроразрушений (рис. 5 е).

Характерны особенности и для диоксидциркониевой керамики стабилизированной оксидом магния. Под действием нагрузок в зоне отпечатка происходят процессы межфазовых превращений с образованием субмакроскопических зерен (рис. 5 в, г). Это способствует более равномерному распределению внутренних напряжений на границах отпечатка индентора.

Такое их перераспределение приводит, в свою очередь, к образованию трещин не только и, не столько в углах отпечатка, сколько по границам субзерен. Оказывая, тем самым, заметное влияние на механизмы деформирова-

ния и разрушения, а в конечном счете на определение значений твердости и трещиностойкости.

Выводы:

1. Исходя из особенностей деформирования и разрушения исследуемых материалов удалось при индентировании получить результаты достаточно близкие, (3 – 5) % для диоксидциркониевой (ДЦИ-1) и (8 – 10) % для нитридкремниевой керамики, к данным альтернативных методов, в частности, метода «выращивания» острой трещины в балочке при чистом изгибе [6].

2. Учитывая полученные экспериментальные данные можем, вероятно, предполагать, что определенные на втором участке диаграммы повреждаемости, величины твердости и трещиностойкости поверхности керамики находятся наиболее близко к истинным их значениям для данных материалов.

3. Предлагаемая методика и получаемые в ходе исследования данные твердости и трещиностойкости керамики могут использоваться как оценочные характеристики этих материалов при проектировочных расчетах.

Список литературы: 1. *Игнатович С.Р.* Оценка повреждаемости слоя материалов при циклическом нагружении методами наноиндентирования и наносклерометрии / [С.Р. Игнатович, И.М. Закиев, Д.И. Борисов и др.] // Проблем. прочности. – 2006. – № 4. – С. 132 – 139. 2. *Гогоци Г.А.* Прямое определение сопротивления керамики разрушению по методу краевого скалывания / [Г.А. Гогоци, В.И. Галенко, Г.И. Озерский и др.] // Завод. лаб. – 2006. – № 3. – С. 49 – 53. 3. *Fantazzi G.* Effect of Nonstoichiometry of Fracture Toughness and Hardness of Yttrium Glide Ceramics / *G. Fantazzi, G. Orange, K. Liang* // J. Amer. Ceram. Soc. – 1989. – Vol. 72, № 8. – P. 1560 – 1563. 4. *Fischer H.* Fracture toughness of dental ceramics comparison of bending and indentation method / *H. Fischer, R. Marx* // Dental Mater. – 2002. – № 1 – P. 112 – 119. 5. Сборник трудов 21-й Конференции по результатам фундаментальных исследований в области керамики. – 1983. – С. 59 – 66. 6. *Гогоци Г.А.* Трещиностойкость керамики на основе диоксида циркония / *Г.А. Гогоци, В.П. Завада, А.И. Фесенко.* – М., 1989. – 89 с. – Деп. в ВИНТИ 25.04.89 г. – № 2690.

Поступила в редколлегию 20.08.10

Е.В. ШТЕФАН, канд. техн. наук, доц., НУПТ, г. Киев

Д.В. РЫНДЮК, ассистент, НУПТ, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ПРЕССОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Розглядається процес пресування дисперсних матеріалів з метою одержання паливних гранул. Показано метод визначення впливу температури дисперсного матеріалу на процес пресування. Досліджено залежності густини зразків від тиску пресування при різних температурах

The processes of disperse materials pressing for fuel granules production is considered. The method of definition of influence of temperature of a disperse material on pressing process is shown. The samples densities and the pressing pressure depending at different temperatures is researched

Производство твердого биотоплива является актуальной проблемой для топливно-энергетического комплекса Украины, поэтому возникает необходимость в исследованиях, которые дали бы возможность раскрыть особенности процесса прессования дисперсных материалов при гранулировании топливных гранул.

В работах [1, 2, 3] была рассмотрена проблема определения оптимальных конструктивно-технологических параметров процесса гранулирования дисперсных материалов экструзией и получены зависимости влияния основных параметров узла прессования гранулятора (рис. 1) на качество конечного продукта – топливную гранулу.

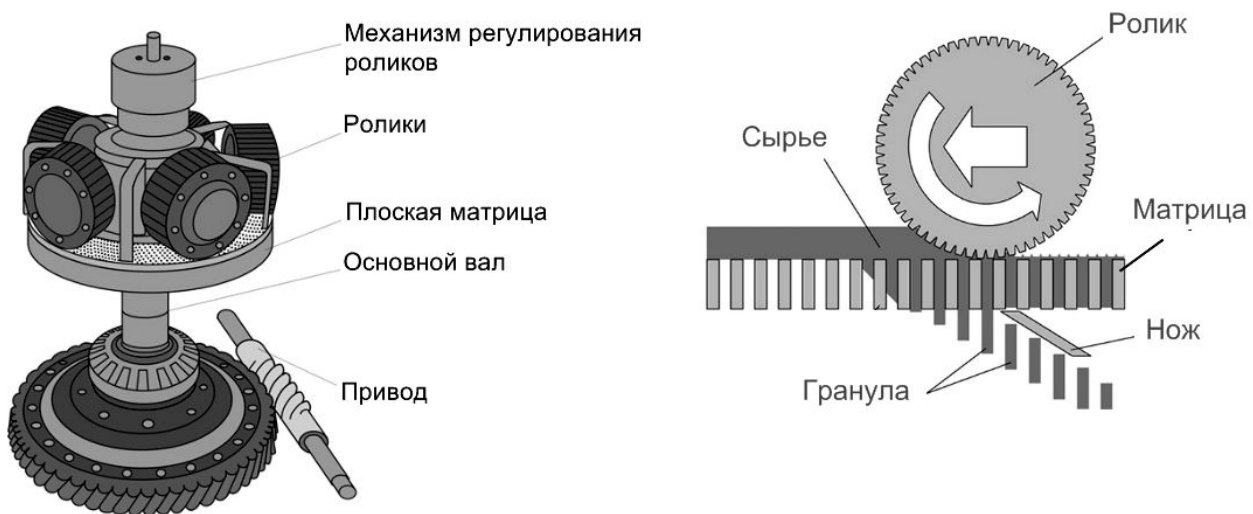


Рис. 1. Схема работы узла прессования гранулятора

Исследования были проведены без учета изменения температуры дисперсного материала в процессе прессования, для увеличения адекватности модели оптимизации предложено температуру в качестве одного из параметров оптимизации.

Независимо от аппаратного оформления процесса гранулирования значительное влияние на формирование гранул оказывает температура гранулируемого материала: повышение температуры положительно влияет на увеличение плотности гранул, а также уменьшение энергопотерь на процесс прессования [4].

Целью данной работы является исследования влияния температуры материала на параметры его уплотнения в процессе прессования, для дальнейшего использования полученных данных в модели оптимизации.

На рис. 2. представлена схема лабораторной установки для исследования влияния температуры на процесс уплотнения дисперсного материала.

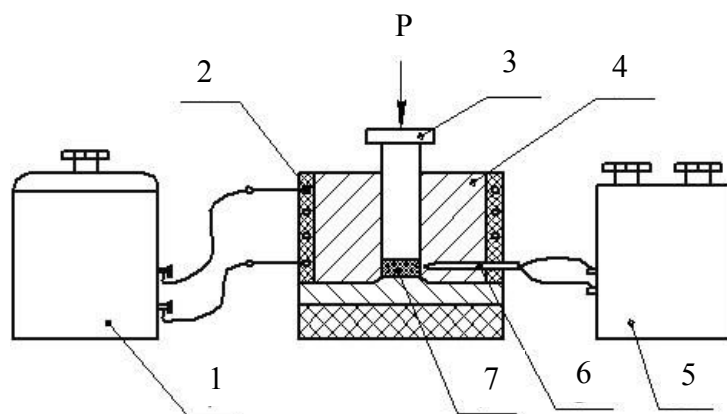


Рис. 2. Схема лабораторной установки для исследования влияния температуры на процесс уплотнения дисперсного материала:

1 – автотрансформатор; 2 – спираль электронагрева; 3 – пуансон; 4 – пресс-матрица; 5 – потенциометр; 6 – термопара; 7 – образец

Прессование проводили с помощью гидравлического пресса в пресс-матрице 4 с диаметром пуансона 10 мм при скорости прессования 0,005 м/с. Перед прессованием сырье нагревали в сушильном шкафу до температуры, равной температуре пресс-матрицы, которую устанавливали с помощью изменения напряжения, подаваемого на спираль электронагрева 2 изолированной пресс-матрицы 4. Температуру пресс-матрицы измеряли термопарой 6, соединенной с потенциометром постоянного тока 5.

Опыты были проведены следующим образом: при фиксированном зна-

чении температуры дисперсного материала проводили прессование и рассчитывали плотность образцов (гранул) полученных при разных давлениях прессования. Изменив температуру, опыт проводили повторно.

На рис. 3. и рис. 4. представленные графики зависимостей плотности образцов (гранул) от давления прессования при изменении температуры сырья от 20 до 100 °С для шелухи подсолнечника, соломы и стружки (сосна, дуб).

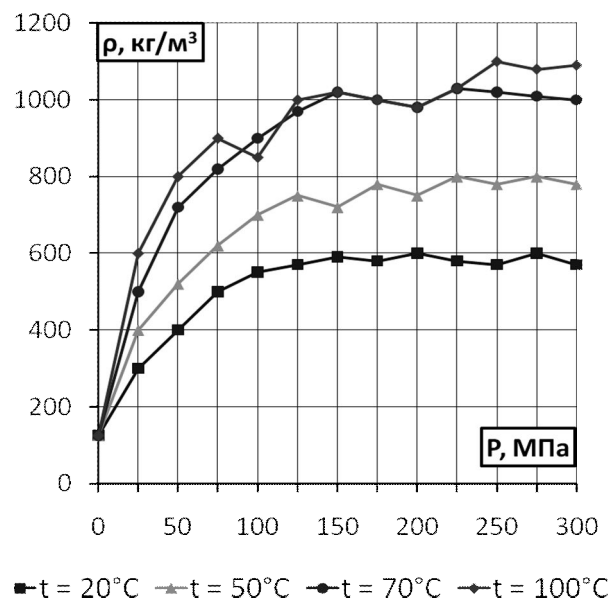
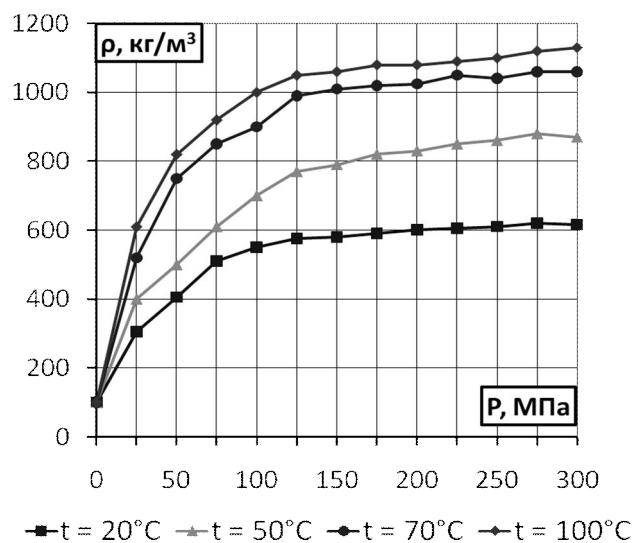


Рис. 3. Графики зависимости плотности ρ от давления прессования P при разных температурах прессования:
а – для шелухи подсолнечника, б – для соломы.

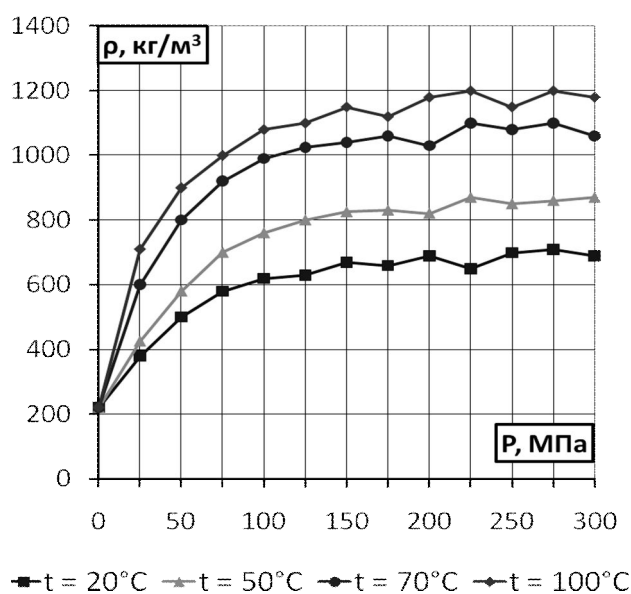
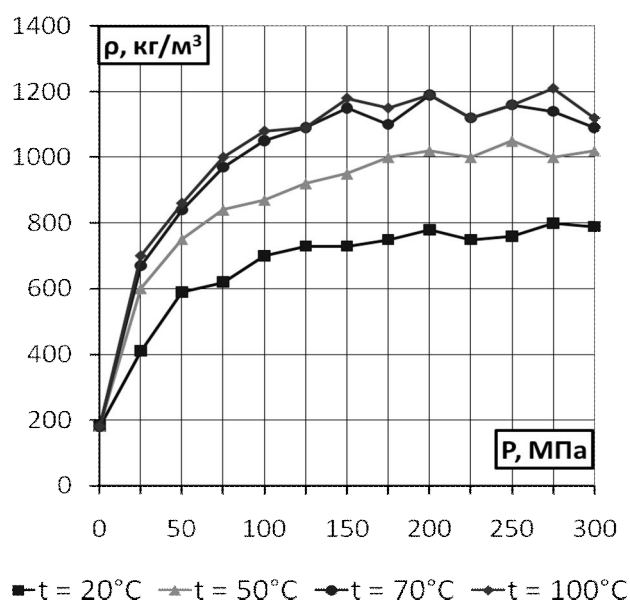


Рис. 4. Графики зависимости плотности ρ от давления прессования P при разных температурах прессования:
 а – для стружки сосны, б – для стружки дуба.

Анализ представленных зависимостей показал, что с увеличением температуры дисперсного материала от 20 до 100 °С наблюдается повышение плотности полученных образцов (гранул).

Увеличение плотности образцов (гранул) обусловлено растворением лигнина с повышением температуры [5].

Лигнин, как аморфный полимер, является своего рода связующим между фибриллами целлюлозы, придавая прочность и жесткость клеточной стенке (проводя аналогию с железобетоном, если целлюлоза по своим свойствам соответствует арматуре, то лигнин, обладающий высокой прочностью на сжатие, – бетону)

При изменении температуры технологического процесса до 100 °С количество лигнина в древесине и в подобных ей дисперсных материалах падает, а с увеличением температуры процесса количество лигнина заметно возрастает, достигая 30 – 36 % [6].

Выводы.

Соответственно, из результатов проведенных экспериментов следует, что дальнейшее повышение температуры сырья выше 100 °С является нецелесообразным, поскольку мало влияет на увеличение плотности гранул, и приводит к лишним энергопотерям.

Полученные результаты будут использованы при построении задачи оптимизации для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров процесса грануляции дисперсных материалов экструзией, а также в качестве рекомендаций при организации технологического процесса производства топливных гранул.

Список литературы: 1. Штефан С.В.. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора / С.В. Штефан, Д.В. Риндюк // Механіка та інформатика: збірник наукових праць молодих вчених. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – С. 172 – 175. 2. Риндюк Д.В. Розробка метода визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора / Д.В. Риндюк, С.В. Штефан // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2006. – Вип. 28, Т. 2. – С. 202 – 205. 3. Штефан С.В. Експериментальний метод дослідження реологічних властивостей органічних матеріалів – відходів зернової промисловості / С.В. Штефан, Д.В. Риндюк // Наукові праці національного університету харчових технологій. – 2008. – № 25, Ч. 2. – С. 106 – 108. 4. Классен Н.П. Гранулирование / Н.П. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. – М.: Химия, 1991. – 240 с. 5. Green David W. *Mechanical Properties of Wood* / David W. Green, Jerrold E. Winandy, David E. Kretschmann // Wood handbook / David W. Green, Jerrold E. Winandy, David E. Kretschmann. – Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Products Laboratory, 1999. – Chapter 4. – P. 4-1 – 4-45. 6. Боголицын, К.Г. Экологически безопасные технологии химической переработки древесины / К.Г. Боголицын, Т.Э. Скребец // Aims for future of engineering science: 5-th international forum, May 2-8, 2004: proceeding. – Paris (France), 2004. – P. 475 – 478.

Поступила в редколлегию 30.08.10

С.Г. ГУЗИЙ, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудн., КНУСА, г. Киев

С.А. ТЕРЕНЧУК, канд. физ.-мат. наук, доц., КНУСА, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЩЕЛОЧНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СУСПЕНЗИЙ ПОСЛЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Представлена работа посвящена дослідженню впливу кавітаційної обробки на фізичні властивості лужних алюмосилікатних суспензій. Показано, що в полі динамічної кавітації відбувається повна аморфізація каоліну, що сприяє збільшенню реакційної здатності та часу збереження однорідності суспензій. Встановлено, що динамічні кавітаційні пристрої скорочують час диспергації в 3 – 12 разів.

The submitted work is devoted to research of influence cavitation processing's on physical properties alkaline aluminosilicate suspensions. It is shown, that in a field dynamic cavitations occurs full amorphization kaolin, that promotes increase of reactionary ability of suspension and time of preservation of uniformity. It is established, that dynamic cavitation devices reduce time dispersion at 3 – 12 time.

Состояние вопроса. Современный рынок производства строительных материалов изо дня в день требует применения новых видов вяжущих веществ. С этой точки зрения, наиболее перспективными являются щелочные алюмосиликаты (геоцементы), основными структурообразующими элементами которых являются аналоги природных цеолитов, фельдшпатидов и других соединений, обеспечивающих специальные свойства композиционным материалам, созданным на их основе [1 – 5]. На сегодняшний день повышение качества строительных материалов и снижение их материалоемкости достигается за счет повышения активности вяжущих. С этой целью традиционно используют химические и минеральные добавки, а также и механоактивацию [6]. Однако, механическая обработка сырья в промышленных масштабах является одной из наиболее энергоемких стадий. Поэтому основной задачей измельчения является получение максимального количества продукта в короткие сроки при минимальных энергозатратах. Для сравнения помольного оборудования, применяемого для переработки одного и того же материала, используем такое понятие как параметр энергетической эффективности (ЭЭ), характеризующийся отношением полезного технологического результата измельчения к суммарным энергетическим затратам в единице объема рабочего пространства [7 – 8]. Сравнение ЭЭ различных измельчителей показывает,

что к числу наиболее эффективных относятся кавитационные (рис. 1).

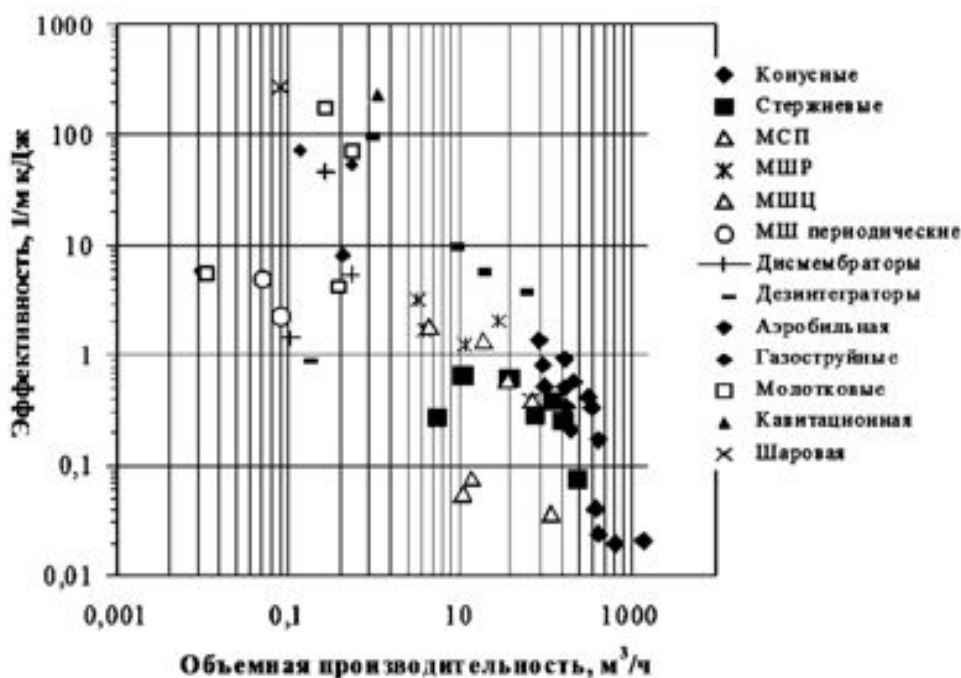


Рис. 1. Сравнение различных измельчителей по параметру энергетической эффективности

Так, из работ [9 – 11] следует, что за счет механической активации в щелочной среде глинозема, оксида магния и диоксида циркония на вибромельницах и центробежных мельницах непрерывного действия АГО-9, алюмосиликатные суспензии были получены за время от 30 минут до 160 часов. Данный вид активации приводит к образованию хемосорбционных связей между силоксилановыми звеньями с Al^{+3} , Mg^{+2} и Zr^{+4} только на поверхности твердых частиц диоксида циркония, оксида магния и глинозема, но не в состоянии изменить кристаллическую структуру сырья и перевести его в аморфное, более реакционное состояние. В работах [12 – 14] для активации щелочных суспензий на основе глинозема был использован динамический кавитатор с модуляцией потока (ДКМП). В результате эксперимента был обнаружен эффект полного перехода кристаллических фаз α - и γ - Al_2O_3 в рентгеноаморфное состояние за время 6 – 12 мин, при давлении 12 – 14 атм. и нагреве щелочной суспензии до температуры 100 – 120 °С.

Цель работы - повышение реакционной способности алюмосиликатных суспензий за счет кавитационной обработки.

Обсуждение экспериментальных данных. В данной работе кавитационной обработке (КО) подвергались гидроалюмосиликатные суспензии типа $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 20H_2O$, полученные на основе каолина (6S-K) и метакаоли-

на (6S-Mk). Установка состоит из емкости (1) для суспензии, которая подается в ДКМП (3) с помощью осевого насоса (2). Давление в системе и температура суспензии измеряется манометром (4) и термодатчиком (7). Установка и её гидравлическая схема показана на рис. 2.

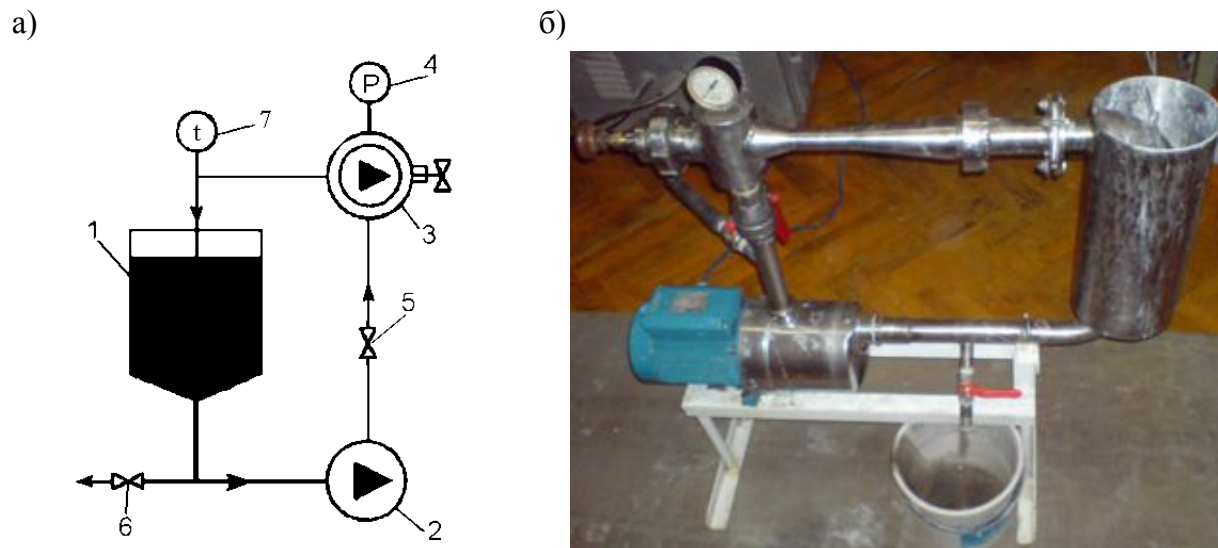


Рис. 2. Гидравлическая схема установки (а), вид в натуральную величину (б):
 1 – емкость с суспензией; 2 – насос; 3 – ДКМП; 4 – манометр;
 5, 6 – вентили; 7 – термодатчик

Изучались такие физические параметры как время КО, давление в ДКМП, температура и технологическая вязкость суспензий.

На рис. 3 представлены зависимости давления в кавитаторе и температуры суспензий от продолжительности кавитационной обработки на ДКМП.

Анализ полученных данных позволяет предположить, что всплески давлений, наблюдаемых на 3-й и 5-й минуте КО, свидетельствуют о том, что в обеих суспензиях происходят процессы диспергирования, объясняемые воздействием кумулятивной струйки на частицы твердой фазы за счет схлопывания кавитационных пузырьков. Об этом же свидетельствует подъем температуры суспензий. Следует отметить, что на 6-ю минуту КО, температура щелочной суспензии на основе метакаолина стабилизируется и составляет 60 °С; а для суспензии на основе каолина стабилизация температуры достигается на 8-ю минуту обработки и составляет 45 °С. При этом фиксируется всплеск давления от 1,9 до 4,2 атм. с выбросом значительного количества энергии, направленной на разрушение кристаллической структуры каолинита (удаление 2-х молекул воды) и его аморфизацию.

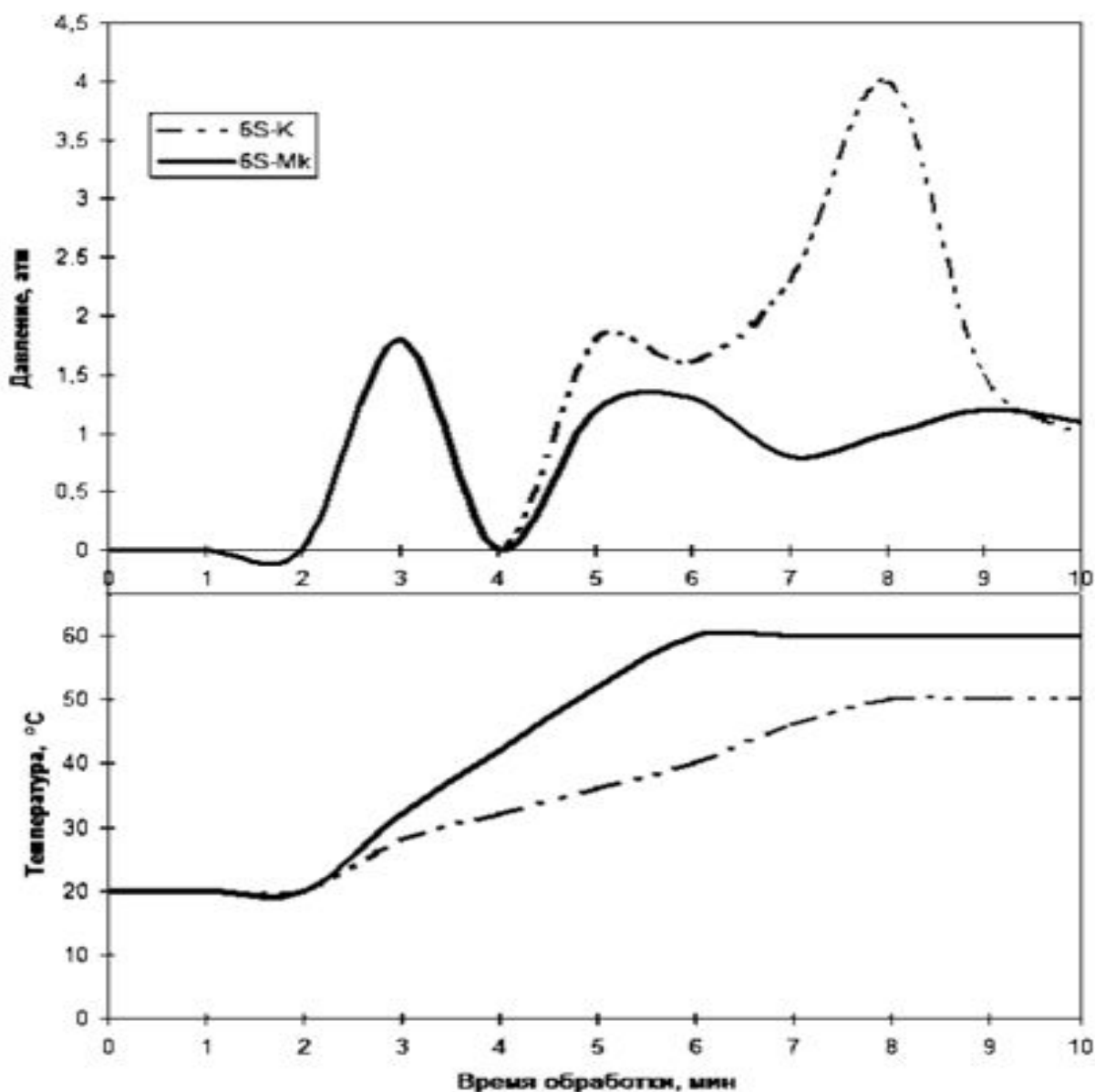


Рис. 3. Зависимость давления и температуры суспензий от продолжительности КО:
1 – 6S-K; 2 – 6S-Mk

Факт перехода каолина в метакaoлин подтверждается рентгенофазовым и термическим методами исследований (рис. 4). На рентгенограмме 1 не наблюдаются дифракционные максимумы, характерные для каолинита – 0,714; 0,357; 0,2489; 0,23384; 0,2291 и 0,1993нм (кр. 1-1). Согласно с данными ДТА (кривая 1) в интервале температур (-) 480 – 590 °С отсутствуют эндоэффекты (кр. 1-1), характерные для процесса удаления химически связанной воды, приводящее к разрушению кристаллической решетки каолинита [17, 18].

По достижению 10-й минуты КО значения давлений в суспензиях стабилизируются на уровне 1,3 атм., процессы диспергации и аморфизации заканчиваются, при этом рост температур суспензий не наблюдается.

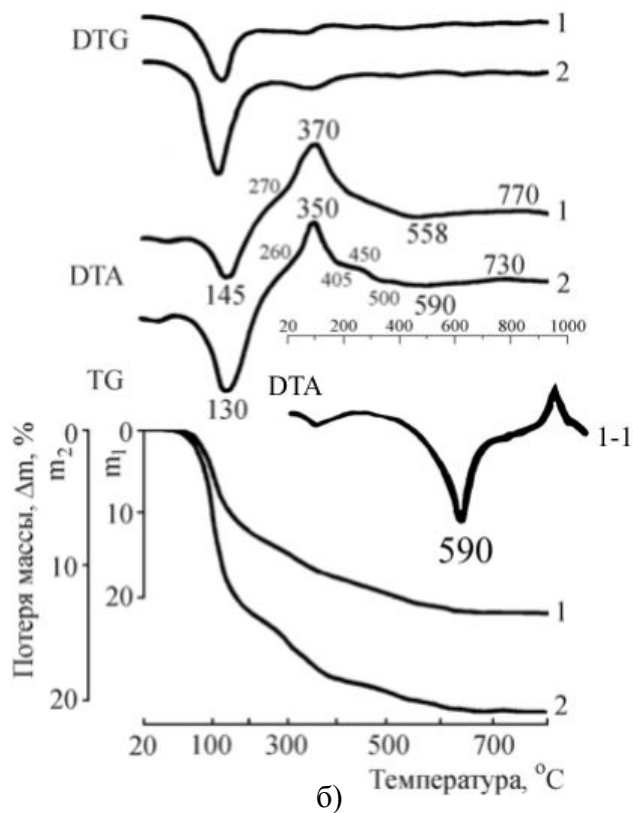
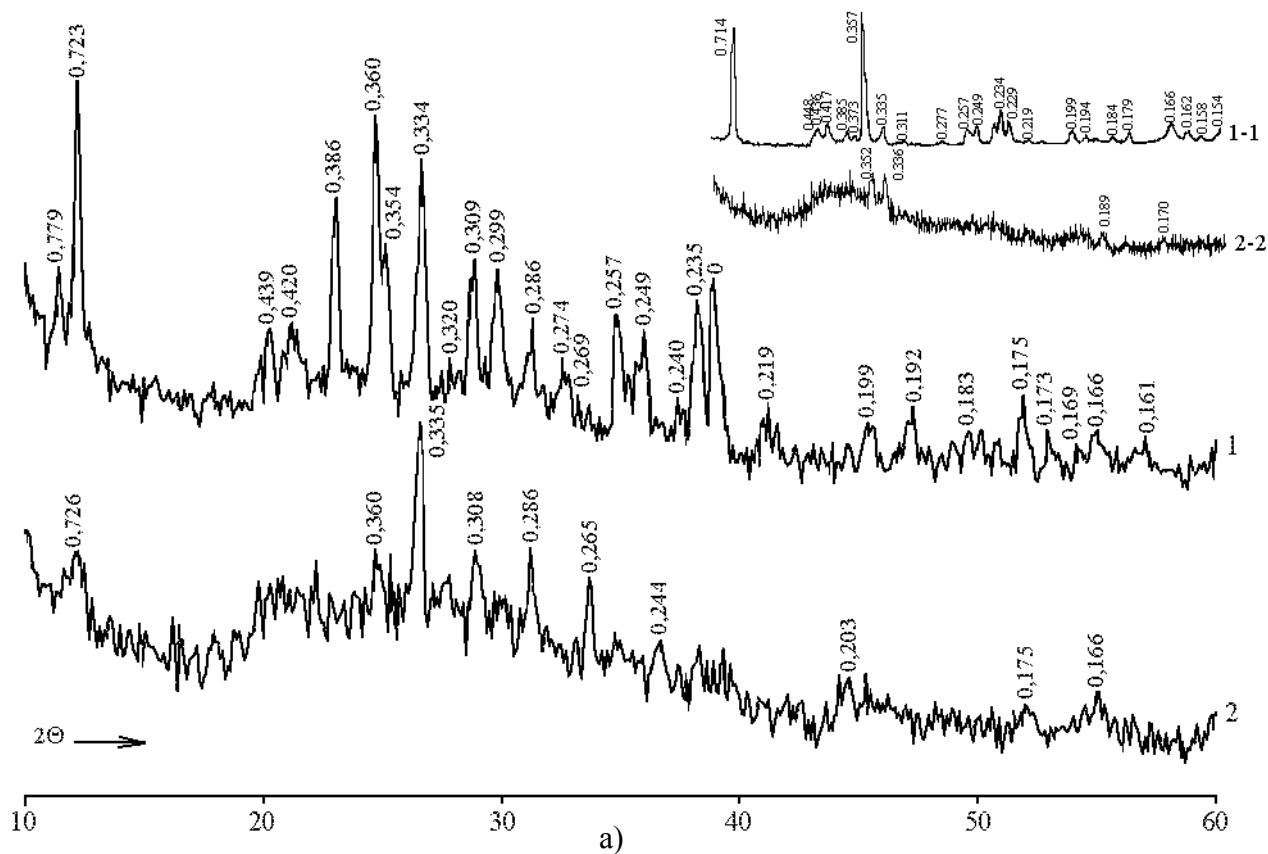


Рис. 4. Рентгенограммы (а) и термограммы (б) щелочных алюмосиликатных суспензий после кавитационной обработки:

1 – 6S-K; 1-1 – K; 2 – 6S-Mk; 2-2 – Mk.

После окончания КО по расплыву вискозиметра Суттарда была определена технологическая вязкость суспензий (рис. 5).

После окончания КО по расплыву вискозиметра Суттарда была определена технологическая вязкость суспензий (фото 1). Значение технологической вязкости щелочных алюмосиликатных суспензий до и после КО показаны на рис. 6.

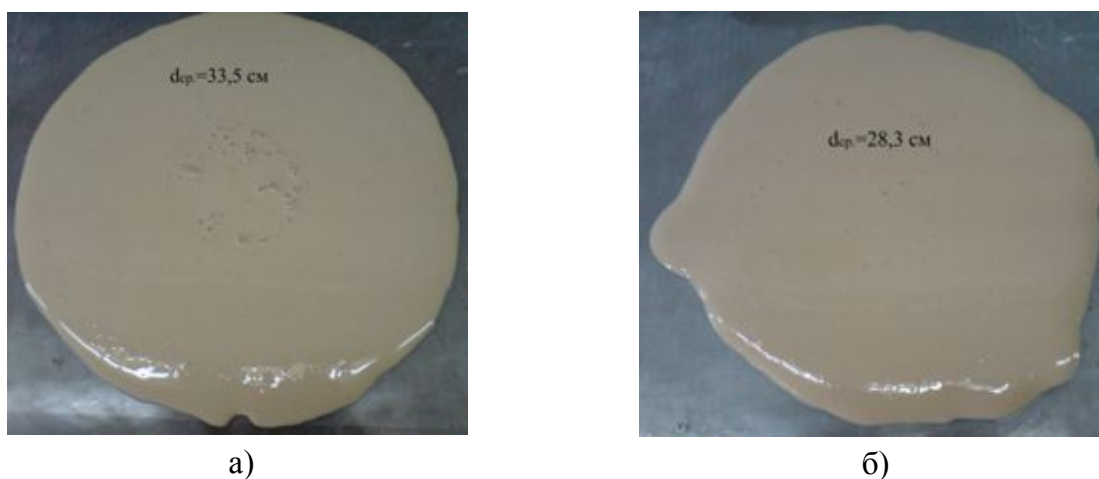


Рис. 5. Растекаемость щелочных алюмосиликатных суспензий после КО, см:
а – 6S-K; б – 6S-Mk

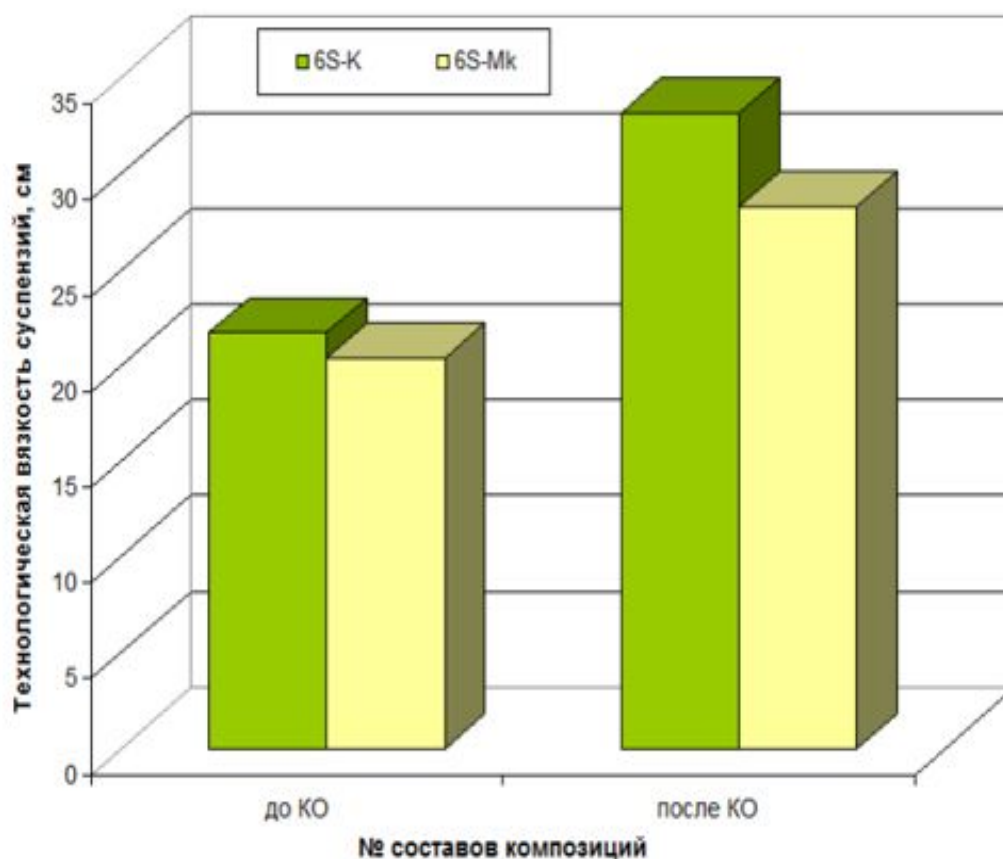


Рис. 6. Технологическая вязкость суспензий 6S-K и 6S-Mk до и после КО

Значения технологической вязкости щелочных алюмосиликатных суспензий до и после КО показаны на рис. 6.

Как видно из приведенных данных технологическая вязкость после КО выросла в 1,4 – 1,5 раз по сравнению со значениями вязкости суспензий до КО.

Это свидетельствует о повышении однородности и реакционной способности по сравнению с суспензиями, получаемыми в нормальных условиях с использованием обычных смесителей, например, “Hobort”.

Следствием этого является отсутствие седиментации и сохранность описанных свойств до 1 года.

Данные щелочные алюмосиликатные композиции были применены для создания эффективных вспучивающихся огнезащитных покрытий по металлу [15, 16].

Выводы.

В результате проведенной работы показано, что в поле динамической кавитации происходит полная аморфизация каолинита; технологическая вязкость возрастает в 1,5 раза по сравнению со значениями вязкости суспензий, которые не подвергались кавитационной обработке; исследованные суспензии характеризуются однородностью, повышенной реакционной способностью, отсутствием седиментации и способностью сохранять описанные свойства до 1 года.

Кроме этого установлено, что динамические кавитационные устройства в 3 – 12 раз сокращают время обработки в сравнении с другими видами измельчителей.

Предметом дальнейших исследований является детальный анализ процессов, происходящих в поле динамической кавитации, которые можно будет использовать для создания материалов с наперед заданными свойствами.

Список литературы: 1. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны / Под общ. ред. проф. В.Д. Глуховского. – К.: Вища школа, 1979. – 232 с. 2. Кривенко П.В. Щелочные алюмосиликатные полимеры / [П.В. Кривенко, Ж.В. Скурчинская, О.А. Бродко, Г.В. Желудков] // Материалы для строительных конструкций. ICMB'94: III Междунар. научн. конф.: тез. докл. – Днепропетровск. – 1994. – С. 13. 3. Skurchinskaya J.V. Progress in Alkaline cements / J.V. Skurchinskaya // Alkaline cements and concretes: I Intern. Conf.: proc. – Kiev: VIPOK Stock Company, 1994. – Vol. 1. – P. 271 – 298. 4. Кривенко П.В. Дослідження впливу фазового складу продуктів тверднення лужних алюмосиликатних зв'язувальних агентів на корозійну стійкість мінералоподібного штучного каменю / [П.В. Кривенко, Ж.В. Скурчинська, О.М. Петропавловсь-

кий, Г.М. Попель] // Хімічна промисловість України. – 1998. – № 4. – С. 66 – 71. **5.** Скурчинская Ж.В. Синтез аналогов природных минералов с целью получения искусственного камня : автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.23.05 / Ж.В. Скурчинская. – Львов, 1973. – 24 с. **6.** Ходаков Г.С. Физика измельчения: монография / Г.С. Ходаков. – М.: Наука, 1972. – 307 с. **7.** Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые среды: учебное пособие / М.А. Промтов. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2004. – 136 с. **8.** Кондратов А.В. Совершенствование процесса и аппарата с использованием кавитационного эффекта для измельчения комбинированных рыбопродуктов: автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.18.12 / А.В. Кондратов. – С.-Пб., 2008. – 16 с. **9.** Еремина Н.В. Огнезащитные композиции на основе жидкого стекла и механически активированных оксидов алюминия и магния: автореф. канд. дис. техн. наук: спец. 05.17.11 / Н.В. Еремина. – Томск, 2007. – 20 с. **10.** Еремина Н.В. Жидкостекольная огнезащитная композиция на основе механически активированного оксида алюминия / Н.В. Еремина, Е.Г. Авакумов, В.Ю. Зелинский // Стекло и керамика. – 2005. – № 2. – С. 28 – 30. **11.** Топилко Н.І. Муліто-цирконові температуростійкі захисні покриття: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.17.11 / Н.І. Топилко. – Львів, 2008. – 17 с. **12.** Guziy S.G. Features of processes of structurization of binders compositions in the system “ $x\text{Na}_2\text{O}\cdot y\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ ” / S.G. Guziy // Chemistry of no silicate binders and technology application SILICHEM: XII Symposium on Science and Research in the Silicate Chemistry, September 19-21 2007: proc. – Brno, 2007. – P. 35 – 41. **13.** Guziy S.G. Research of a microstructure of an artificial stone of a binder composition in system $x\text{Na}_2\text{O}\cdot y\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ / S.G. Guziy // Non-Traditional cement&Concrete: III Intern. Symp. Brno University of Technology, June 10-12 2008: proc. – Brno, 2008. – P. 312 – 319. **14.** Гузий С.Г. Щелочные алюмосиликатные вяжущие композиции на основе глинозема: основы синтеза, технологии получения и применения / С.Г. Гузий // Высокотемпературные материалы и технологии в XXI веке: Международная научно-практическая конференция, 12-13 нояб. 2008 г.: докл. – М., 2008. **15.** Гузий С.Г. Способность к вспучиванию огнезащитных геоцементных покрытий после искусственного старения / С.Г. Гузий // СтройПрофиль. – 2010. – № 2(80). – С. 108 – 110. **16.** Гузий С.Г. Способность к вспучиванию огнезащитных геоцементных покрытий после искусственного старения / С.Г. Гузий // СтройПрофиль. – 2010. – № 3(81). – С. 114 – 117. **17.** Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учебное пособие / В.С. Горшков, В.В.Тимашев, В.Г.Савельев. – М.: Высшая школа, 1984. – 335 с. **18.** Вассоевич Н.Б. Справочник по литологии / [Н.Б. Вассоевич, В.Л. Либрович, Н.В. Логвиненко, В.И. Марченко]; под ред. Н.Б. Вассоевича. – М.: Недра, 1983. – 509 с.

Поступила в редколлегию 26.07.10

П.И. ПИЛОВ, докт. техн. наук, проректор, НГУ, г. Днепропетровск,
Л.Ж. ГОРОБЕЦ, докт. техн. наук, проф., НГУ, г. Днепропетровск,
Н.С. ПРЯДКО, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудн., ИТМ НАН Украины,
В.В. ГАЕВОЙ, канд. техн. наук, доц., НГУ, г. Днепропетровск,
Л.А. ЦЫБУЛЬКО, канд. техн. наук, доц., НГУ, г. Днепропетровск,
И.В. ВЕРХОРОБИНА, инж., ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

АКУСТИЧЕСКИЕ «ОБРАЗЫ» РЕЖИМОВ СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Встановлено акустичні параметри і критерії, які характеризують режими і ефективність струменевого подрібнення, з метою регулювання процесу.

Acoustic parameters and the criteria describing jet grinding modes and efficiency are established with the purpose of process regulation

Введение. При получении высокодисперсных порошков (более $0,6 - 1 \text{ м}^2/\text{г}$) струйным способом весьма актуальна проблема поиска и поддержания оптимального режима измельчения в различных режимах загрузки струй измельчаемым материалом [1, 2].

Для исследования процесса измельчения применяется метод акустической эмиссии (АЭ) [3, 4].

Прогнозная оценка удельных энергозатрат на измельчение в условиях объемного сжатия модельных образцов горных пород осуществляется с использованием ряда параметров АЭ: скорости счета \dot{N} акустических сигналов (АС) на запредельной стадии деформирования и акустоэмиссионной эффективности разрушения N_ε ($N_\varepsilon = N/\varepsilon$, ε – деформация за пределом прочности).

Акустоэмиссионными признаками интенсивного измельчения называют увеличение средней \dot{N}_{cp} или максимальной \dot{N}_{max} скорости счета акустических сигналов за пределом прочности нагруженного образца.

Высокоинформативными акустическими параметрами являются: суммарный счет АС и активность АЭ в очагах разрушения (диспергирования), амплитудные распределения АС, косвенно характеризующие размеры частиц разрушенного продукта.

Установлена связь количества образованных мелких и тонких фракций

(менее 100 – 400 мкм) при разрушении сжатием пород от удельного N_V (на единицу объема) числа АС.

Целью работы является поиск акустических критериев оценки эффективности струйного измельчения. В процессе акустического мониторинга струйной мельницы решалась задача установления связей производительности и дисперсности готового продукта с акустическими параметрами при измельчении твердых сыпучих материалов.

Изложение результатов. Важными факторами струйного измельчения с равнозначными параметрами подаваемого энергоносителя (расход, давление, температура, скорость струй) являются количество загружаемой твердой фазы (загрузка мельницы) и крупность измельчающихся частиц.

В зависимости от этих факторов изменяется скорость и частота соударений частиц, влияющих на производительность мельницы.

В сущности, концентрация твердой фазы в струе при прочих равных условиях задает эффективность струйного измельчения, поскольку с увеличением количества материала в струе выше оптимальной концентрации уменьшается скорость разгона частиц в инжекторе и в результате меньшей скорости встречных ударов частиц снижается производительность мельницы.

Ранее проведенные исследования [3 – 7] показали целесообразность использования некоторых характеристик акустического излучения зоны помола (числа АС в единицу времени, амплитуды сигналов и их распределения по величине) для получения информации о преимущественных размерах частиц в струе, их гранулометрическом составе и количестве загрузки струй материалом.

В данной работе для измельчения использовалась противоточная струйная установка лабораторного типоразмера производительностью 2 – 30 кг/ч, энергоноситель – сжатый воздух среднего давления.

Производительность мельницы рассчитывалась на основе взвешивания готового продукта, осажденного в циклоне.

Масса порций загружаемого материала крупностью менее 2,5 мм составляла $m = 1$ кг, интервал их загрузки – 3 – 8 мин, длительность измельчения – 15 – 30 мин.

Акустическая активность измельчения измерялась с применением специального пьезодатчика, соединенного с латунным волноводом, установлен-

ным внутри помольной камеры мельницы.

Датчик АС сигналов, разработанный в МГТУ им. Баумана [4, 5], был соединен с аналогово-цифровым преобразователем и компьютером.

Методика обработки опытных данных акустического мониторинга состояла в следующем.

На различных стадиях заполнения помольной камеры материалом измерялось общее число N_{Σ} акустических сигналов различных амплитуд (период измерения АС – $\tau = 1$ с, период регистрации – 0,1 с).

Далее определялось число N_x сигналов, характеризующих режим истечения струй без подачи материала в мельницу (фоновый шум, режим «холостого» хода, амплитуда АС – менее 0,05 – 0,1В).

Разница ($N_{\Sigma} - N_x$) характеризует искомое число АС для исследуемого режима загрузки и производительности мельницы.

Полагаем, что величина активности \dot{N} (имп/с) акустического излучения пропорциональна реальному числу ударов частиц о волновод, поскольку из общего счета АС в расчетах исключается фоновый шум струй энергоносителя: $\dot{N} = (N_{\Sigma} - N_x) / \tau$.

При различных режимах работы струйной мельницы, отличающихся степенью загрузки струй твердой фазой, устанавливались различия амплитуд акустических сигналов (АС), измеряемых в зоне помола.

Акустическими «образами» измельчения будем называть далее комплекс акустических параметров и критериев, взаимодействие или соотношение которых характеризует режимы измельчения.

Применение акустического мониторинга позволило установить взаимосвязь производительности G (г/с) мельницы, акустической активности \dot{N} (имп/с) зоны помола и акустического показателя K_3 (г/имп) эффективности измельчения.

Эффективность струйного измельчения оценивалась условным коэффициентом $K_3 = G / \dot{N}$ (г/имп), характеризующим соотношение производительности G мельницы и акустической активности (в виде логарифма) АЭ зоны помола.

При неизменном режиме классификации (частота вращения ротора классификатора $n = const$, мин⁻¹) изменение G для одного и того же материала может быть обусловлено степенью отклонения насыщенности струй твердой фазой от оптимального уровня.

На рис. 1 иллюстрируется изменение во времени производительности мельницы по готовому продукту и акустического излучения зоны помола.

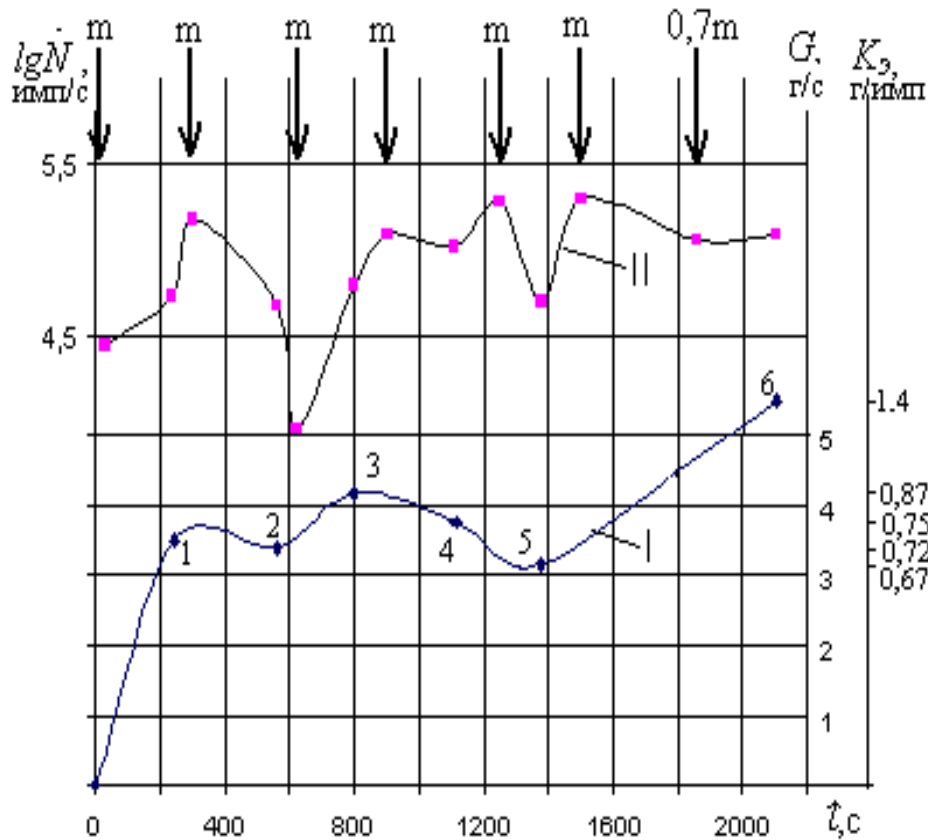


Рис. 1. Изменение производительности (I) и акустической активности (II) при струйном измельчении известняка

Стрелками обозначены моменты подачи порции материала.

Видно, что на этапе загрузки струй твердой фазой величина $lg \dot{N}$ увеличивается, затем в процессе измельчения уменьшается до поступления новой порции в струю.

Связь коэффициента $Kэ$ с производительностью мельницы при обработке различных материалов (циркон, шамот, известняк, бурый и газовый уголь) в аналогичных режимах измельчения ($n = 600 - 2000 \text{ мин}^{-1}$, давление воздуха $P = 0,3 \text{ МПа}$, активность АЭ $\dot{N} = 10^3 - 10^5 \text{ с}^{-1}$) показана на рис. 2, где $y = 0,26x - 0,03$ ($y - Kэ = G / lg \dot{N}$, г/имп, $x - G$, г/с).

Как показали исследования, в рабочих режимах струйной мельницы ($G = 1,6 - 5,5 \text{ г/с}$) величина $Kэ$ для различных материалов изменяется в пределах $0,3 - 1,5$.

Поиск оптимального уровня загрузки струй материалом, обеспечивающего максимальную производительность мельницы (и соответственно минимальные

энергозатраты), проводился по диапазону активности \dot{N} акустического излучения зоны помола.

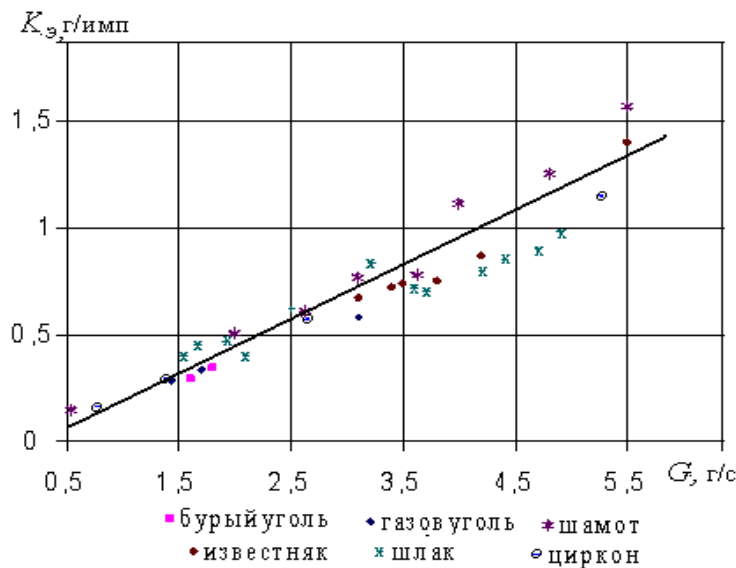


Рис. 2. Зависимость показателя акустической эффективности $K_{э}$ струйного измельчения от производительности G мельницы

Установлено, что для материалов с различными свойствами и измельчаемостью оптимальная величина $\dot{N}^{опт}$ изменяется.

Поиск оптимального уровня загрузки струй материалом, обеспечивающего максимальную производительность мельницы (и соответственно минимальные энергозатраты), проводился по диапазону активности \dot{N} акустического излучения зоны помола.

Установлено, что для материалов с различными свойствами и измельчаемостью оптимальная величина $\dot{N}^{опт}$ изменяется.

В таблице представлены акустические и технологические показатели струйного измельчения ряда материалов.

На рис. 3 показана зависимость показателя $K_{э}$ от степени акустической активности $lg \dot{N}$ зоны струйного измельчения.

Анализ опытных данных, приведенных на рис. 2, 3 и в таблице, позволил установить следующие оптимальные уровни акустической активности \dot{N} (c^{-1}) зоны помола струйной мельницы, при которых достигается эффективность процесса $K_{э}$ не менее 0,4 г/имп:

шамот: $K_{э} = 1,6 - 0,7; \dot{N} = 10^{3,5-3,8};$
 известняк: $K_{э} = 1,4 - 0,8; \dot{N} = 10^{3,9-4,8};$

газовый уголь: $Kэ = 0,4 - 0,6$; $\dot{N} = 10^{5,0-5,3}$;

бурый уголь: $Kэ = 0,4$; $\dot{N} = 10^{5,3}$.

Проводилась оценка дисперсности продуктов струйного измельчения по величине $S_{y\partial}$ удельной поверхности на приборе Т-3 (В.В. Товарова) [8].

Получены следующие результаты: шамот: $S_{y\partial} = 0,17 - 0,28 \text{ м}^2/\text{г}$; известняк: $S_{y\partial} = 0,3 - 0,68 \text{ м}^2/\text{г}$; газовый уголь: $S_{y\partial} = 0,97 - 1,88 \text{ м}^2/\text{г}$; бурый уголь: $S_{y\partial} = 1,11 - 1,32 \text{ м}^2/\text{г}$.

Таблица

Изменение показателей производительности, акустической активности и эффективности струйного измельчения для шамота, известняка и угля

№	Материал	G , г/с	\dot{N} , имп/с	$\lg \dot{N}$	$Kэ$, г/имп
1	шамот	1,97	7207	3,86	0,5
2		3,08	9982	4,0	0,77
3		0,54	3660	3,56	0,15
4		5,5	3374	3,5	1,57
5		2,6	22484	4,35	0,6
6		4	3764	3,57	1,12
7		4,8	6292	3,8	1,26
8		3,6	41943	4,6	0,78
1	известняк	3,5	54759	4,74	0,74
2		3,4	48383	4,7	0,72
3		4,2	63788	4,8	0,87
4		3,8	104590	5,02	0,75
5		3,1	50926	4,7	0,67
6		5,5	7510	3,88	1,4
1	газовый уголь	1,7	114813	5,06	0,34
2		1,4	198239	5,3	0,27
3		3,1	200754	5,3	0,58
1	бурый уголь	1,8	181690	5,26	0,34
2		1,6	303852	5,5	0,29
1	циркон	7,11	41174	4,62	1,54
2		5,25	38436	4,59	1,15

Сопоставление показателей дисперсности и акустической активности измельчения ($S_{y\partial}$, $Kэ$ и \dot{N}) выявило закономерность роста уровня акустической активности АЭ при получении более тонкого продукта. Процесс измельчения частиц до дисперсности порядка $S_{y\partial} = 0,2 - 0,3 \text{ м}^2/\text{г}$ (шамот) со-

проводится активностью порядка $\dot{N} = 10^{3,5}$; при $S_{y\partial} = 0,3 - 0,6 \text{ м}^2/\text{Г}$ (известняк) $\dot{N} = 10^4$; при $S_{y\partial} = 1,0 - 1,8 \text{ м}^2/\text{Г}$ (уголь) $\dot{N} = 10^{5,3}$.

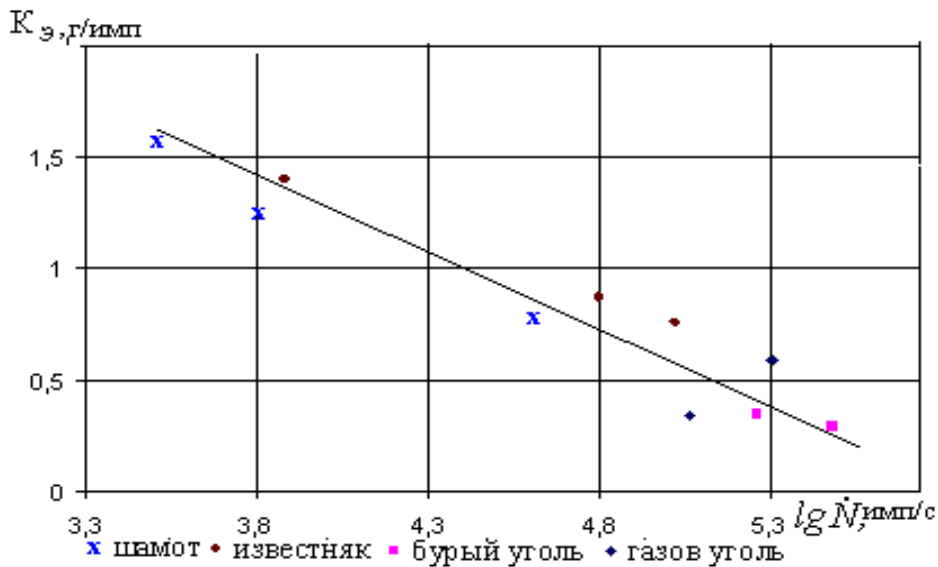


Рис. 3. Изменение акустической эффективности $K_{\text{э}}$ измельчения в различных диапазонах $\lg \dot{N}$ зоны помола материалов

Сопоставление показателей дисперсности и акустической активности измельчения ($S_{y\partial}$, $K_{\text{э}}$ и \dot{N}) выявило закономерность роста уровня акустической активности АЭ при получении более тонкого продукта. Процесс измельчения частиц до дисперсности порядка $S_{y\partial} = 0,2 - 0,3 \text{ м}^2/\text{Г}$ (шамот) сопровождается активностью порядка $\dot{N} = 10^{3,5}$; при $S_{y\partial} = 0,3 - 0,6 \text{ м}^2/\text{Г}$ (известняк) $\dot{N} = 10^4$; при $S_{y\partial} = 1,0 - 1,8 \text{ м}^2/\text{Г}$ (уголь) $\dot{N} = 10^{5,3}$.

При этом наблюдается естественная тенденция снижения показателя эффективности струйного измельчения в области более высокой дисперсности получаемого продукта: при $S_{y\partial} = 0,2 - 0,3 \text{ м}^2/\text{Г}$, $K_{\text{э}}^{\text{макс}} = 1,6$, тогда как при $S_{y\partial} = 1,1 - 1,3 \text{ м}^2/\text{Г}$, $K_{\text{э}}^{\text{макс}} = 0,6$.

Важным технологическим параметром работы струйной мельницы является кратность циркуляции $K_{\text{ц}}$ материала в системе, т.е. величина циркулирующей нагрузки.

Полагаем, что соотношение счета акустических сигналов в конкретный момент N и в начале загрузки $N_{\text{загр}}$ может характеризовать величину $K_{\text{ц}} \approx N/N_{\text{загр}}$. Определение числа сигналов проводилось за 1с.

На рис. 4 дан пример такого акустического наблюдения при измельчении шамота ($n = 600 \text{ мин}^{-1}$, $P = 0,3 \text{ МПа}$).

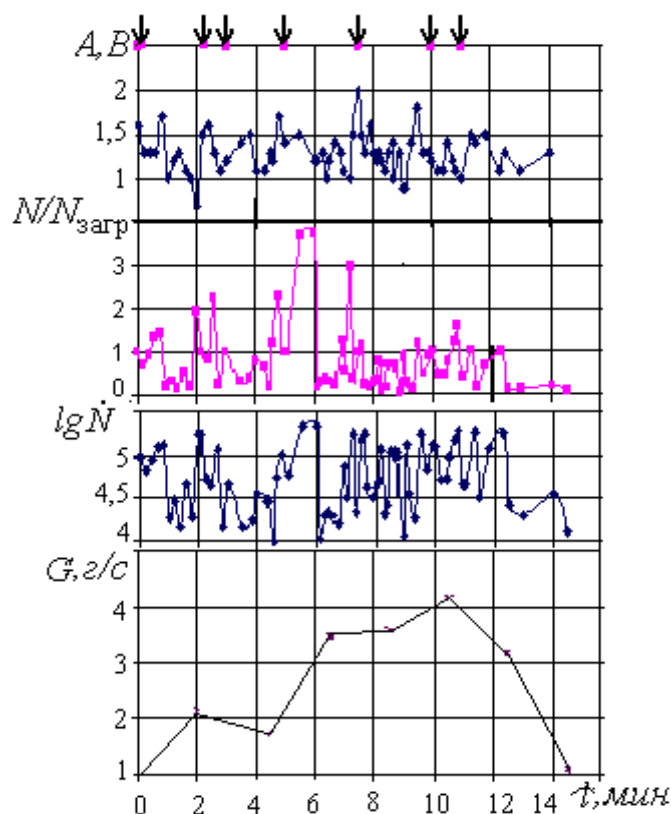


Рис. 4. Кинетика производительности G и параметров акустического «образа» струйного измельчения шамота: $N/N_{загр}$, $\lg \dot{N}$, A .

Сопоставление графиков кинетики $N/N_{загр}$ и G позволяет сделать вывод о том, что максимальная производительность мельницы обеспечивается в условиях приближения величины акустического показателя $K_{ц} \approx N/N_{загр}$ циркуляции материала к единице.

В состоянии разгрузки струй величина $N/N_{загр}$ становится значительно меньше 1, а в режимах далеко не оптимальных по содержанию твердой фазы в струе $N/N_{загр}$ составляет порядка 2 – 4.

В работе уделялось внимание также изменению амплитудных распределений АС на различных стадиях измельчения и в различном диапазоне амплитуд, поскольку эти изменения могут быть связаны с повышением дисперсности измельчаемых частиц и использованы в акустическом мониторинге для контроля размеров частиц циркулирующей нагрузки и готового продукта.

На рис. 5 показаны результаты этого исследования на примере струйного измельчения металлургического граншлака.

Видно, что изменение степени загрузки струй (графики 1, 2, 3) сопровождается трансформацией распределений амплитуд по величине в диапазоне

как малых ($< 0,5$ В), так и больших ($> 0,7$ В) значений A .

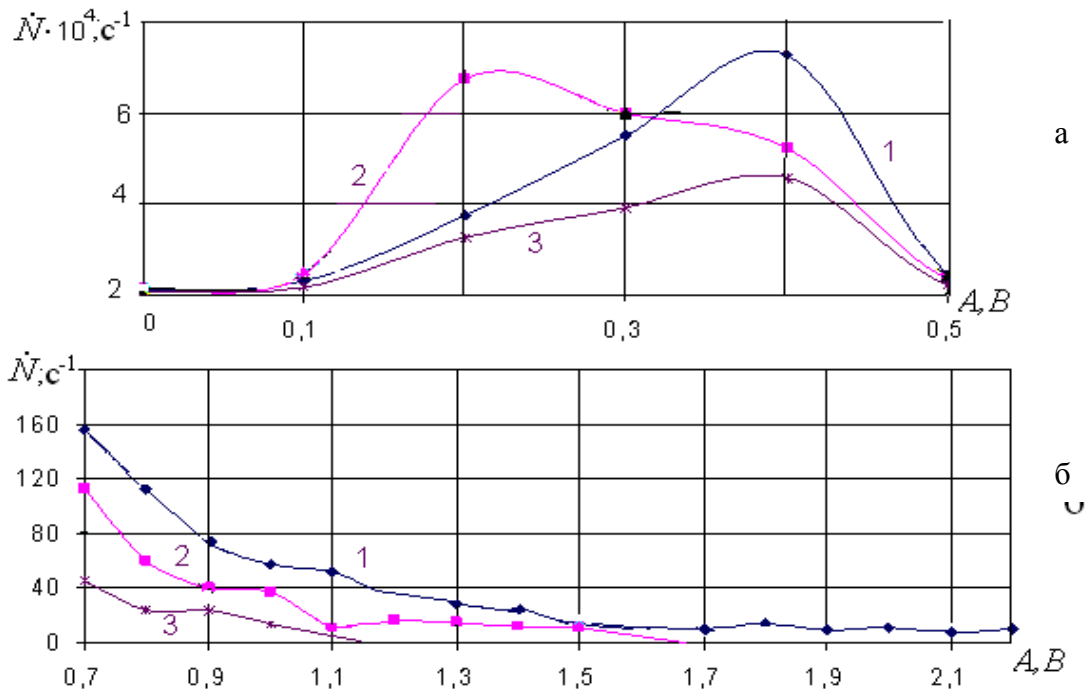


Рис. 5. Изменение акустической активности зоны помола в различных диапазонах амплитуд АС и на различных стадиях измельчения (1 – загрузка струй, 2 – рабочий режим, 3 – разгрузка струй): а) $A < 0,5$ В; б) $A > 0,7$ В

Переход от состояния загрузки (или рабочего режима) к разгрузке струй можно контролировать:

во-первых, счетом АС, уменьшающимся в 3 – 4 раза (от 160 – 120 до 40 c^{-1} , $A = 0,7$ В),

во-вторых, закономерностью исчезновения.

Кроме того, в условиях наиболее эффективного режима рабочего измельчения наблюдается тенденция накопления в распределениях $N = f(A)$ амплитуд некоторой (характерной) величины, обусловленной преимущественным размером измельчаемых частиц: для шлака – это $A = 0,2$ В (рис. 5а, график 2).

Следует отметить, что такие параметры акустических «образов» струйного измельчения, как активность и амплитуда, взаимосвязаны между собой, и характер этой взаимосвязи дает основание прогнозировать дисперсность измельченного материала.

На рис. 6 иллюстрируется этот вывод: с повышением удельной поверхности готового продукта от $S_{y\partial} = 0,17$ $\text{м}^2/\text{г}$ до $S_{y\partial} = 1,88$ $\text{м}^2/\text{г}$ доля миллиамплитудных сигналов ($A = 20$ мВ) значительно возрастает, составляя бо-

лее 90 %.

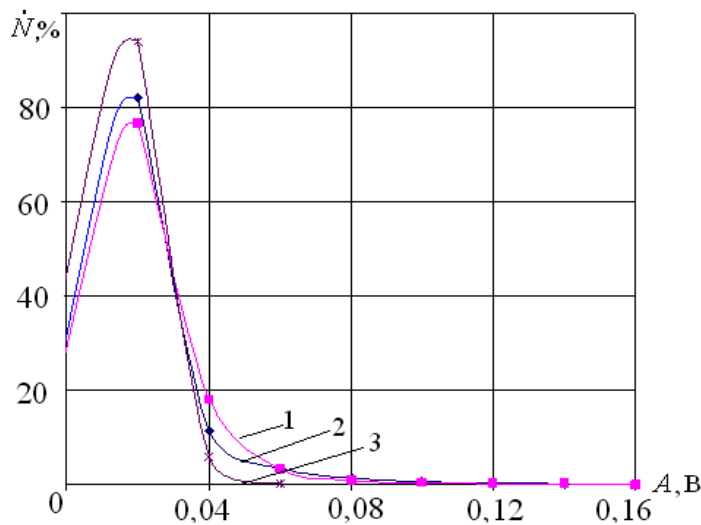


Рис. 6. Акустические параметры (активность \dot{N} и амплитуда A) рабочей зоны струйной мельницы при получении порошков различной удельной поверхности:

- 1, 2 – шамот (1 – $S_{y\partial} = 1724 \text{ см}^2/\text{г}$, 2 – $S_{y\partial} = 4850 \text{ см}^2/\text{г}$);
 3 – газовый уголь ($S_{y\partial} = 18827 \text{ см}^2/\text{г}$)

Из рис. 7 следует, что процесс повышения дисперсности измельчаемых частиц в диапазоне $S_{y\partial} = 0,1 - 2,1 \text{ м}^2/\text{г}$ характеризуется уменьшением значений амплитуд $A_{\text{макс}}$ на стадии разгрузки струй, т.е. по завершении цикла измельчения поступившей в струю порции.

В число $A_{\text{макс}}$ вошли АС наибольших значений амплитуд с долей 10 – 15 %.

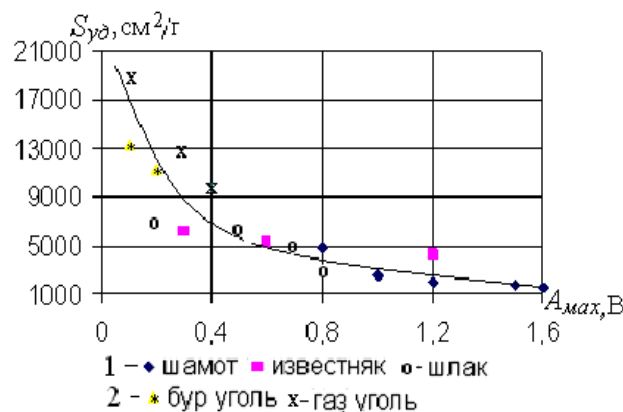


Рис. 7. Изменения максимальных значений $A_{\text{макс}}$ амплитуд АС с повышением дисперсности $S_{y\partial}$ измельчаемых частиц (стадия разгрузки струй)

Выводы:

1. Проведение акустического мониторинга рекомендуется с использованием следующих характеристик акустического «образа» режима струйного измельчения. В предлагаемый комплекс определяющих процесс измельчения акустических параметров входят:

- активность \dot{N} АЭ в зоне помола на любой стадии загрузки струй при условии исключения из числа измеряемых АС фонового шума струй энергоносителя $\dot{N} = (N_{\Sigma} - N_x) / \tau$;

- условный коэффициент эффективности струйного измельчения $K_{\text{э}} = G / \lg \dot{N}$ (г/имп), рассчитываемый по соотношению производительности G мельницы и акустической активности (в виде логарифма) зоны помола за исследуемый период;

- соотношение счета АС в начале загрузки $N_{\text{загр}}$ и в конкретный исследуемый момент N , которое может характеризовать величину кратности циркуляции материала в системе, т.е. величину циркулирующей нагрузки: $K_{\text{ц}} \approx N / N_{\text{загр}}$;

- счет АС со значениями амплитуд порядка минимальных ($A \approx 20$ мВ) с долей выше 70 % и максимальных ($A > 0,7$ В) с долей 10 – 15 %, позволяющий контролировать процесс роста дисперсности измельчаемых частиц в диапазоне удельной поверхности $S_{\text{уд}} = 0,1 - 2,1$ м²/г;

2. Поддержание эффективной работы мельницы следует реализовать путем непрерывного контроля установленных параметров акустического «образа» зоны помола и управления загрузкой материала с позиций поиска оптимальной насыщенности струй твердой фазой и скорости ударов частиц.

3. При проведении акустического мониторинга с учетом изложенного опыта струйного измельчения ряда твердых сыпучих материалов крупностью менее 2,5 мм необходимо принять во внимание следующие закономерности взаимосвязи акустических параметров режима измельчения с эффективностью измельчения и дисперсностью готового продукта:

- критерием оценки соответствия процесса оптимальным условиям измельчения может служить величина отношения $K_{\text{э}}$ производительности мельницы к акустической активности зоны помола $\lg \dot{N}$: $K_{\text{э}} = G / \lg \dot{N}$ (г/имп), причем, в рабочих режимах измельчения исследованных материалов величина $K_{\text{э}}$ должна быть не менее 0,4 г/имп.

- для материалов с различными свойствами и измельчаемостью оптимальная величина активности АЭ зоны помола $\dot{N}^{\text{опт}}$, соответствующая мак-

симальной производительности, изменяется в пределах двух порядков: от $\dot{N} = 10^{3,5}$ до $\dot{N} = 10^{5,3}$, причем, наиболее высокие значения \dot{N}^{opt} сопровождаются получением более тонкодисперсного продукта.

- определение величины акустического показателя $K_{\alpha} \approx N/N_{загр}$ циркуляции материала позволяет прогнозировать уровень производительности мельницы таким образом, что в начальных условиях переполнения струй этот показатель составляет порядка 2 – 4, а при их чрезмерной разгрузке – меньше 1, тогда как эффективное измельчение с максимальной производительностью обеспечивается при приближении K_{α} к единице.

- процесс повышения дисперсности измельчаемых частиц при удельной поверхности до $S_{уд} = 2,1 \text{ м}^2/\text{г}$ характеризуется закономерным уменьшением максимальных значений амплитуд в амплитудных распределениях АС на стадии разгрузки струй.

Список литературы: 1. *Пилов П.И.* Технологические возможности струйных измельчителей / *П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, И.В. Верхоробина* // ГИАБ. – 2007. – № 3. – С. 359 – 367. 2. *Пилов П.И.* Развитие и совершенствование конструкций струйных измельчительных установок / [*П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, В.И. Мальченк и др.*] // ЗКК. – 2009. – № 38(79). – С. 59 – 68. 3. *Горобец Л.Ж.* Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых: автореф. дис. на соискание научн. степени доктора техн. наук / *Л.Ж. Горобец*. – Днепропетровск, 2004. – 35 с. 4. *Пилов П.И.* Параметры акустического излучения промышленной газоструйной установки / [*П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, В.Н. Бовенко и др.*] // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 27. – С. 33 – 41. 5. *Pilov P.I.* An acoustic monitoring of the sizes changes of grinded particles / [*P.I. Pilov, L.J. Gorobets, V.N. Bovenko et al.*] // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 6. – С. 23 – 26. 6. *Пилов П.И.* Акустическое исследование измельчаемости гетерогенных материалов струйным способом / [*П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, В.Н. Бовенко и др.*] // ЗКК. – 2008. – № 34(75). – С. 67 – 74. 7. *Pilov P.I.* Research of acoustic monitoring regularities in a jet grinding process / *P.I. Pilov, L.ZH. Gorobets, N.S. Pryadko* // Archives of Mining Sciences, Polish Academy of Sciences. – 2009. – Vol. 54, №. 4. – P. 841 – 848. 8. *Горобец Л.Ж.* Характеристики дисперсности продуктов струйного измельчения / [*Л.Ж. Горобец, Н.С. Прядко, В.П. Краснопер и др.*] // ЗКК. – 2010. – № 41 – 42. – С. 111 – 121.

Поступила в редколлегию 30.08.10

В.П. НАДУТЫЙ, докт. техн. наук, проф.,

В.В. СУХАРЕВ, аспирант, ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ВНУТРИВАЛКОВОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

В статті представлено розробку конструкцій внутрішньовалкового конусного млина на основі проведених теоретичних і експериментальних дослідів. Експериментально встановлено залежності енергоємності процесу м'якого та тонкого подрібнювання на внутрішньовалковому конусному млині від обертів приводу, зазору розвантажувальної щілини та міцності гірської маси, що подрібнюється.

In article is presented development to designs of conical grinding mill on the grounds of called on theoretical and experimental study. Relations of energy output of process grind and fine grinding on of a roll conical grinding mill from revolutions of the arbor, width of an unloading backlash and strength of durability of rocks are established experimentally.

Для подготовки горной массы к дальнейшей переработке используются серийно выпускаемые валковые мельницы различных типов. В частности при разработке технологии извлечения самородной меди из базальтового сырья в процессе рудоподготовки используются операции дробления, измельчения, классификации и сепарации на магнитных сепараторах магнитовосприимчивой части базальтового сырья, а на электрических сепараторах – включений самородной меди. Поскольку электрические сепараторы работают с мелко вкрапленными частицами до 1 мм (но не менее 50 – 100 мкм), то при измельчении горной массы не допускается переизмельчение медных самородков. Однако применяемые шаровые, центробежные, вибрационные, струйные мельницы не могут в полной мере выполнить эти условия и, как правило, материал имеет переизмельченные частицы меди. Вследствие этого возникла необходимость создания такой конструкции мельницы, которая не допускает пререизмельчения самородной меди и в то же время имеет регулируемую границу верхнего класса крупности готового продукта, исходя из технологии переработки меди.

Разработанная в ИГТМ НАН Украины внутривалковая конусная мельница [1] позволяет решить эту проблему, отделяя вмещающую породу за счет многократной деформации сдвига со сжатием, а самородок превратить в ока-

тыши цилиндрической формы без дальнейшего их измельчения. В то же время разрушение пород горной массы деформацией сдвига в три и более раз требует меньших усилий, чем при раздавливании, поэтому совмещение деформации сжатия с деформацией сдвига при разрушении в процессе измельчения является перспективным при создании новых конструкций валковых мельниц.

Конструктивная схема мельницы представлена на рис. 1.

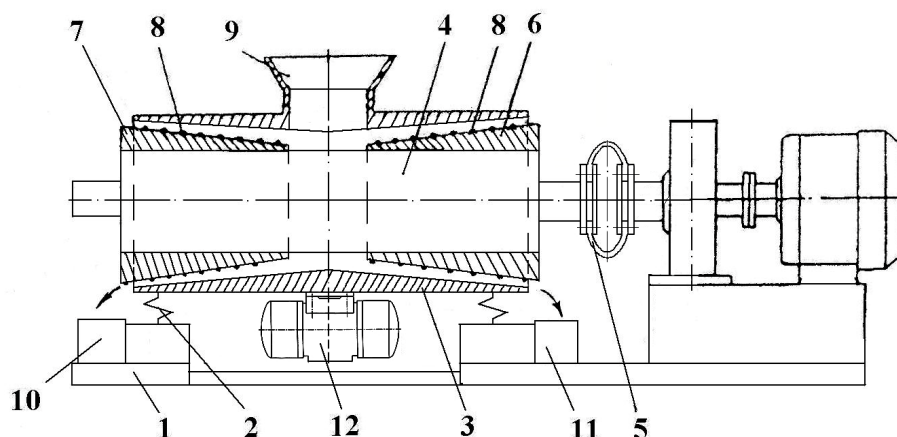


Рис. 1. Конструктивная схема внутривалковой конусной мельницы

Мельница работает следующим образом.

При включении привода вал 4 вращается вместе с коническими втулками 6 и 7. Измельчаемая горная масса через загрузочный лоток 9 попадает в камеру, образованную смежными меньшими основаниями конусов 6 и внутренней оболочкой 3. Из камеры материал перемещается вправо и влево, захватываемый многозаходной винтовой линией конических втулок.

При дальнейшем перемещении материала величина его частиц будет соответствовать размеру кольцевой щели между внутренней частью оболочки и конической поверхностью втулок 6 и 7.

При движении материал в основном истирается, т.е. частицы претерпевают сдвиговые деформации.

Поскольку величина разгрузочной щели регулируется, то имеется конструктивная возможность изменять тонину помола горной массы.

Конечный продукт выходит из торцевых зазоров между оболочкой 3, втулками 6 и 7 и собирается в разгрузочных лотках 10 и 11. При этом колебания вибровозбудителя 12 обеспечивают сегрегацию материала в помольной камере, увеличивают скорость его движения.

Главными достоинствами такой конструкции являются снижение энергопотребления за счет разрушения горной массы с участием сдвиговых усилий при использовании многократного силового воздействия на измельчаемый материал для его ослабления за счет возникших микро- и макроразрушений от предыдущих воздействий, получение продуктов измельчения с ограничением по верхнему классу.

Для обоснования конструктивных и режимных параметров мельницы были выполнены теоретические и экспериментальные исследования, которые показали работоспособность разработанной конструкции и позволили подтвердить эффективность использования сдвиговых деформаций и вибрации [2 – 3].

Целесообразность применения мельницы данной конструкции была проверена сравнительным анализом с мельницами серийного производства по удельной производительности, а именно, количества измельченного материала на 1 кВт·час.

Зависимость удельной производительности внутривалковой мельницы q (кг/кВт·ч) по затратам энергии на 1 килограмм измельчаемого продукта от оборотов мельницы и величины разгрузочной щели представлена на рис. 2 и имеет слабонелинейный, ниспадающий с установившимся режимом характер.

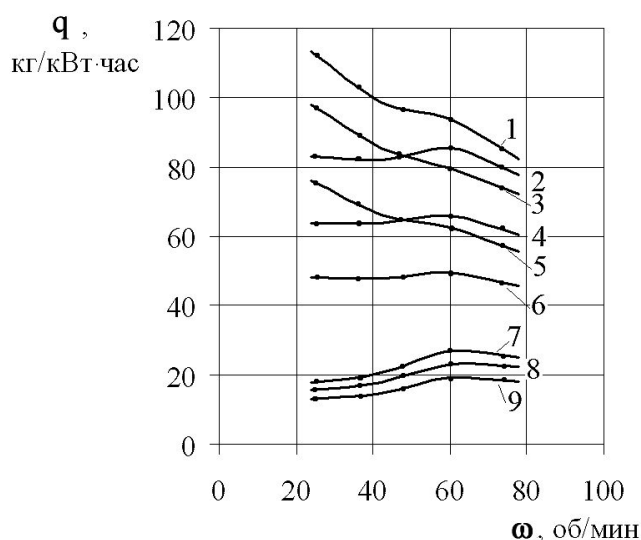


Рис. 2. Зависимость удельной производительности по затраченной энергии q (кг/кВт·час) в зависимости от оборотов вала мельницы ω (об/мин) и зазора Δ (мм)

- 1 – уголь ($\Delta = 5$ мм), 3 – уголь ($\Delta = 4$ мм), 5 – уголь ($\Delta = 3$ мм),
- 2 – песчаник ($\Delta = 5$ мм), 4 – песчаник ($\Delta = 4$ мм), 6 – песчаник ($\Delta = 3$ мм),
- 7 – гранит ($\Delta = 5$ мм), 8 – гранит ($\Delta = 4$ мм), 9 – гранит ($\Delta = 3$ мм)

Наиболее близкой по технологическим характеристикам исходного и получаемого продукта является валковая мельница ДВГ 200×125.

Удельная производительность по затраченной энергии на измельчение этой мельницы равна $q = 50$ кг/кВт·час.

В то же время внутривалковая конусная мельница в схожих условиях имеет удельную производительность $q = 65$ кг/кВт·час.

Следовательно, можно сделать вывод, что внутривалковая конусная мельница по сравнению с серийными валковыми мельницами при равных технологических параметрах имеет удельную производительность по количеству измельченного материала выше на 30 %.

На основании проведенных исследований была разработана новая конструкция вертикальной внутривалковой конусной мельницы вибрационного типа [4].

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования предыдущей конструкции за счет вертикального размещения цилиндрических оболочек и синхронизации работы вибровозбудителя и конусных валков, благодаря чему достигается повышение производительности работы мельницы.

Схема мельницы представлена на рис. 3.

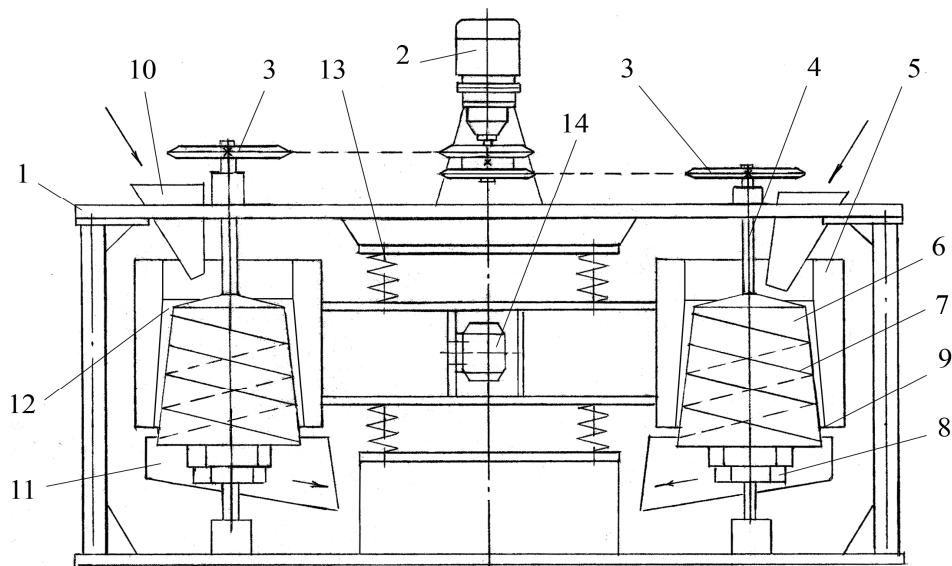


Рис. 3. Конструктивная схема вертикальной внутривалковой конусной мельницы вибрационного типа

Мельница работает следующим образом.

При включении привода 2 через передачу 3 и вал 4 обороты передаются коническим валкам 6 помольной камеры 12.

Горная масса через загрузочный лоток 10 подается в камеру 12, образованную конусным валком 6 и оболочкой 5.

Из камеры материал под влиянием гравитации и многозаходной винтовой навивки конического вала перемещается в зону зазора между внутренней конической частью цилиндрической оболочки 5 и конической поверхностью вала 6.

При дальнейшем перемещении материала в зазоре, который постепенно уменьшается, величина частиц горной массы будет уменьшаться соответственно размеру зазора между валком и цилиндрической оболочкой.

При концентрическом движении по спирали, за счет винтовой навивки 7, материал получает сдвиговые деформации при измельчении.

Поскольку направление оборотов вибровозбудителя 14 совпадает с оборотами конусного вала, то движению материала, его сегрегации и измельчению оказывает содействие работа вибровозбудителя, поворотные колебания которого могут быть синхронизированы с оборотами конусного вала, который обеспечивает ему дополнительную энергию для измельчения, а горной массе – повышение скорости транспортирования вниз по спирали.

Таким образом, совпадение направления вращения и количества оборотов вибровозбудителя и конусного вала есть оптимальным режимом для повышения производительности мельницы предложенной конструкции.

Конечный измельченный продукт выходит из торцовых зазоров 9 между цилиндрической оболочкой и конусным валком и собирается в разгрузочных лотках 11.

При этом размер разгрузочной щели 9 регулируется устройством 8 для изменения крупности помола горной массы.

Такое изменение может осуществляться независимо, на разных валках мельницы, и, вследствие этого, возможно получение разных крупностей помола горной массы.

Выводы.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности разработки и применения внутривалковых мельниц, использующих сдвиговые деформации и эффект вибрации для измельчения горных пород, содержащих самородные металлы.

Список литературы: 1. Пат. 42114 України, МПК⁷ В02С 2/00, В02С 15/00. Внутрішньовалковий конусний млин / *Надутьий В.П., Сухарев В.В.*; заявник та патентовласник ІГТМ НАН України;

заявл. 05.01.09; опубл. 25.06.09, Бюл. № 12. **2.** *Надутый В.П.* Определение зависимости производительности внутривалковой мельницы тонкого помола от ее параметров и прочности горной массы / *В.П. Надутый, В.В. Сухарев* // Геотехническая механика. – 2008. – Вып. 74. – С. 62 – 66. **3.** *Надутый В.П.* Экспериментальное определение влияния вибрации на процесс измельчения во внутривалковой мельницы / *В.П. Надутый, В.В. Сухарев* // Вибрации в технике и технологиях. – 2009. – Вып. 2(54). – С. 73 – 75 **4.** Пат. 48990 України, МКИ⁷ В02С 2/00, В02С 15/00. Внутрішньовалковий конусний млин вібраційного типу / *Надутый В.П., Сухарев В.В., Кіжло Л.А.*; заявник та патентовласник ІПТМ; заявл. 05.11.09; опубл. 12.04.10, Бюл. № 7.

Поступила в редколлегию 20.08.10

Содержание

1.	М.І. СОКУР, Л.М. СОКУР, І.М. СОКУР ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РУЙНУВАННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ В ПОЛІ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ	3
2.	И.Р. ОСТРОВСКИЙ, В.Ф. СИРИК, В.Ф. ГАНКЕВИЧ, А.А. ТИТОВ, Д.И. ДРАБАН НАДДОЛОННЫЕ АМОТИЗАТОРЫ	11
3.	В.Ю. БАКЛАН НАНОГРАФІТ ЯК КАТАЛІЗАТОР КИСНЕВОГО ЕЛЕКТРОДУ ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ	21
4.	Д.А. СТРАТИЙЧУК ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ V_4C	26
5.	М.О. КАРЧЕВСЬКА ДОСЛІДЖЕННЯ РУЙНУВАННЯ ТВЕРДОГО В КУЛЬОВИХ МЛИНАХ З МЕТОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ	33
6.	Н.Ф. КОСЕНКО, М.А. СМІРНОВА ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СВОЙСТВА ЗОЛЬНО-ИЗВЕСТКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	39
7.	Р.Н. ШЕВЦОВ, И.Д. РЯБОВ, Ю.А. ОНАСЕНКО, Л.Д. ПИЛИПЧАТИН ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА НИЗКОЦЕМЕНТНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ	44
8.	О.В. БЕРЕЗЮК ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	49
9.	О.И. ЗЕЛЕНСКИЙ, В.М. ШМАЛЬКО, В.Б. ДИСТАНОВ, О.А. КОПЕЙКО ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КОКСОХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	56
10.	Д.А. БРАЖНИК, В.В. ПОВШУК ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПЕРИКЛАЗОХРОМІТОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ФОСФАТНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ	60
11.	В.И. ВИННИЧЕНКО, Н.Ю. ЖУКОВА АНАЛИЗ ТЕПЛОТЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ В ИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЕМИСТОЙ СМЕСИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ	64
12.	К.Ю. ДЕЙНЕКА СОЗДАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ С АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ВНУТРИКАМЕРНОЙ ЗАГРУЗКОЙ	69
13.	В.В. КОЛЄДА, О.С. МИХАЙЛЮТА, Т.О. ШЕВЧЕНКО, Ю.В. ДІДЕНКО, Є.В. АЛЕКСЄЄВ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КАОЛІНІВ ТУРБІВСЬКОГО РОДОВИЩА В КЕРАМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	74
14.	Ю.В. НАУМЕНКО ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ ВНЕШНЕКАМЕРНОГО МНОГОСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ	84

15.	С.Д. БОРУК ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ УГЛЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ НА ИТЕНСИВНОСТЬ ПОМОЛА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА	89
16.	Д.О. СТОРОЖЕНКО, О.Г. ДРЮЧКО, І.О. ІВАНИЦЬКА, Н.В. БУНЯКІНА ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НА ПІДГОТОВЧИХ СТАДІЯХ ПРИ СИНТЕЗІ ОКСИДНИХ РЗЕ-ВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	94
17.	В.А. БАТЛУК, Н.М. ПАРАНЯК, М.М. БАСОВ ДЕЯКІ ПИТАННЯ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ ПРИ РОЗМЕЛЕННІ, РОЗДІЛЕННІ ТА ЗМІШУВАННІ МАТЕРІАЛІВ	100
18.	А.В. БАШТА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ИНДЕНТИРОВАНИЯ	106
19.	Е.В. ШТЕФАН, Д.В. РЫНДЮК ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ПРЕССОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ	114
20.	С.Г. ГУЗИЙ, С.А. ТЕРЕНЧУК ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЩЕЛОЧНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СУСПЕНЗИЙ ПОСЛЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ	119
21.	П.И. ПИЛОВ, Л.Ж. ГОРОБЕЦ, Н.С. ПРЯДКО, В.В. ГАЕВОЙ, Л.А. ЦЫБУЛЬКО, И.В. ВЕРХОРОБИНА АКУСТИЧЕСКИЕ «ОБРАЗЫ» РЕЖИМОВ СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ	127
22.	В.П. НАДУТЫЙ, В.В. СУХАРЕВ РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ВНУТРИВАЛКОВОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ	139

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ “ХПІ”

Тематичний випуск
“Хімія, хімічна технологія та екологія”

Збірник наукових праць

Випуск № 65

Науковий редактор д.т.н., проф. М.І. Рищенко

Технічний редактор С.З. Зеленцов

Відповідальний за випуск к.т.н. І.Б. Обухова

Обл.-вид. № 192-10

Підп. до друку 11.11.2010 р. Формат 60x84 1/16. Папір офісний.
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 8. Обл.-вид. арк. 8.
Наклад 300 прим. Перший завод 1-100. Зам. № 831. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

Надруковано у СПДФО Израйлев Є.М.

Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.

61024, м. Харків, вул. Фрунзе, 16