

Науменко Ю. В., д.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРИФАЗНОГО РЕЖИМУ РУХУ ЗЕРНИСТОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ КАМЕРИ ОБЕРТОВОГО БАРАБАНА

Запропоновано модель реального трифазного режиму руху внутрішньо-камерного завантаження обертового барабана. Показано, що картина руху завантаження у поперечному перерізі камери містить, поряд із традиційною твердотільною та зоною невідного падіння, раніше не враховану третю зону зсувного шару. Встановлено, що основний робочий процес у барабанній машині здійснюється в зсувному шарі завдяки стиранню та роздавлюванню.

Ключові слова: барабанний млин, завантаження, картини руху.

Предложена модель реального трехфазного режима движения внутри-камерной загрузки вращающегося барабана. Показано, что картина движения загрузки в поперечном сечении камеры содержит, наряду с традиционной твердотельной зоной и зоной несвободного падения, ранее не учитываемую третью зону сдвигового слоя. Установлено, что основной рабочий процесс в барабанной машине осуществляется в сдвиговом слое благодаря стиранию и раздавливанию.

Ключевые слова: барабанная мельница, загрузка, картины движения.

The model of the actual rotating drum intrachamber filling three-phase flow is proposed. It is pointed out that the chamber cross-section filling flow patterns contain, among familiar solid-state and falling-down phases, the third shifting layer phase, which previously was not taken into account. It is established that drum machine operating process are effected into a shifting layer owing to rubbing and crushing.

Keywords: tumbling mill, filling, flow patterns.

Обробка зернистих матеріалів здійснюється переважно в машинах барабанного типу. Основним напрямом розвитку такого обладнання є інтенсифікація режимів роботи.

Парадоксальною особливістю барабанних машин є поєднання граничної простоти конструкції та вкрай складної для описування поведінки оброблюваного середовища.

Традиційна теорія руху зернистого заповнення барабанних машин базується на концепції ізольованого від оточуючого середовища окремого елемента завантаження камери [1-6]. Передбачається, що режим руху завантаження

у поперечному перерізі камери є двофазним «водоспадним» із твердотільною зоною і зоною підкидання та падіння в поперечному перерізі камери.

Проте суттєва розбіжність результатів розрахунку із експериментальними даними спричинила тенденцію відмови від цієї гранично спрощеної гіпотези на користь моделі трифазного або «змішаного» режиму.

Модель реального трифазного режиму враховує виникнення третьої зсувної зони руху завантаження, де і відбувається основні процеси обробки зернистого середовища. Низка авторів здійснила спроби створення теорії такого режиму [7-10]. Однак отримані результати (рис. 1) не дозволили розробити достатньо універсальні методики прогнозування параметрів руху завантаження.

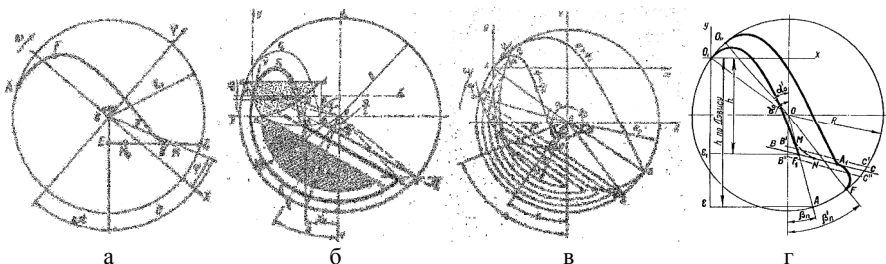


Рис. 1. Схеми моделей картин руху завантаження при змішаному режимі:

а – за Маляровим П. В., б – за Юдахиним М. М.,

в – за Морозовим С. Ф., г – за Матієгою В. М.

За мету роботи було поставлено побудову моделі параметрів трифазного режиму руху завантаження на основі візуального аналізу картин руху.

За основу взято уточнену трифазну схему руху завантаження в поперечному перерізі обертової камери (рис. 2).

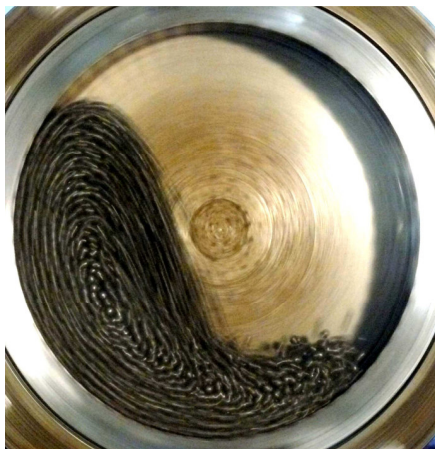


Рис. 2. Фізична модель трифазного режиму руху внутрішньокамерного зернистого завантаження

Картину руху завантаження можна умовно розділити на три зони. Перша зона твердотільного руху без відносного пересування елементів завантаження, друга зона руху із відокремленням та падінням елементів – у верхній частині камери, третя зона течії у вигляді швидкого гравітаційного зсувного потоку – поблизу вільної поверхні у нижній частині завантаження. При низькій швидкості обертання друга зона є слабовираженою, а третя представлена тонким шаром. Зі зростанням швидкості масові частки другої та третьої зон зростають за рахунок першої зони. При наближенні швидкості до критичної друга зона набуває максимального значення, а третя збігається до нуля.

Процес ударної дії реалізується на межі ВС переходу між другою та третьою зонами завантаження. Основний процес стираючої дії реалізується у верхній частині третьої зони при швидкій течії із значним зсувним градієнтом, а процес роздавлюючої дії виникає у нижній частині цієї зони при сповільненні потоку.

Визначальними параметрами, що характеризують трифазний режим руху зернистого завантаження камери обертового барабана, є масовий розподіл завантаження між трьома зонами та оборотність завантаження. До них належать ступені балістичної $K_{oa} = m_o/m$ і зсувної $K_{za} = m_z/m$ активації та приєднання $K_n = (m - m_o - m_z)/m$, де m_o та m_z – маса балістичної другої та зсувної третьої зони завантаження, m – маса всього завантаження, характеризують питомі частки відповідно другої, третьої та першої зон у масі всього завантаження. Ці масові параметри кількісно характеризують дію на середовище відповідно ударянням, стиранням та роздавлюванням.

Оборотність $K_o = 2\pi/(t_u \omega)$, де t_u – тривалість циклу руху завантаження, характеризує кількість періодів циркуляції завантаження впродовж одного оберту барабана. Параметр є кінематичним і визначає продуктивність робочого процесу.

Для чисельного визначення параметрів руху було застосовано аналітико-експериментальний метод дослідження. Він полягав у розрахунку параметрів на основі аналітичних залежностей та з урахуванням експериментальних даних за результатами візуального аналізу зареєстрованих картин руху завантаження (рис. 3).

Задавались вихідні дані: радіус камери R , ступінь заповнення камери завантаженням κ , кутова швидкість обертання барабана ω .

За допомогою отриманої картини руху завантаження вимірюється кут підйому завантаження α_n , що задає положення точки А.

Розраховувалось положення поверхні зсування АВ, в системі координат із центром в точці А [11], та встановлювалось положення точки В у верхній частині третьої зони.

Вимірювалась максимальна висота падіння в другій зоні h_o та встановлювалось положення точки С. Вимірювалась радіальна координата центра цир-

Обчислювались чисельні значення шуканих параметрів за виразами

$$K_{\delta a} = S_{\delta} / (\pi R^2 \kappa), \quad K_{3a} = S_3 / (\pi R^2 \kappa), \quad K_n = 1 - K_{\delta a} - K_{3a},$$

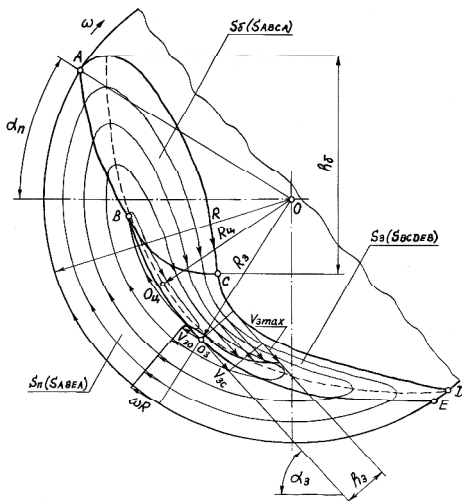
$$K_o = [I - (R_u / R)_2] / \kappa.$$


Рис. 2. Розрахункова схема визначення основних параметрів трифазного режиму руху зернистого завантаження камери обертового барабана за допомогою візуалізації картини руху

Отримано результати для чотирьох типових випадків роботи машин барабанного типу. Перший випадок характеризується відносним розміром елементів завантаження d у камері діаметром $D - d/D=0,022$ та хвильовою формою її поверхні, що відповідає умовам роботи кульових або першої камери трубних млинів із новою футерівкою, які є найпоширенішим різновидом барабанних машин. Другий – $d/D=0,026$ та гладкою камерою, що відповідає умовам роботи кульових або першої камери трубних млинів із повністю зношеною поверхнею футерівки. Третій – $d/D=0,01$ та гладкою камерою, що відповідає умовам роботи другої камери трубних млинів. Четвертий – $d/D=0,0024$ та гладкою камерою, що відповідає умовам роботи третьої камери трубних млинів із мініпесбним молольним завантаженням.

На рис. 3 наведено отримані усереднені картини руху завантаження при окремих ступенях заповнення камери за зростанням швидкості обертання відповідно для чотирьох випадків роботи барабаних машин.

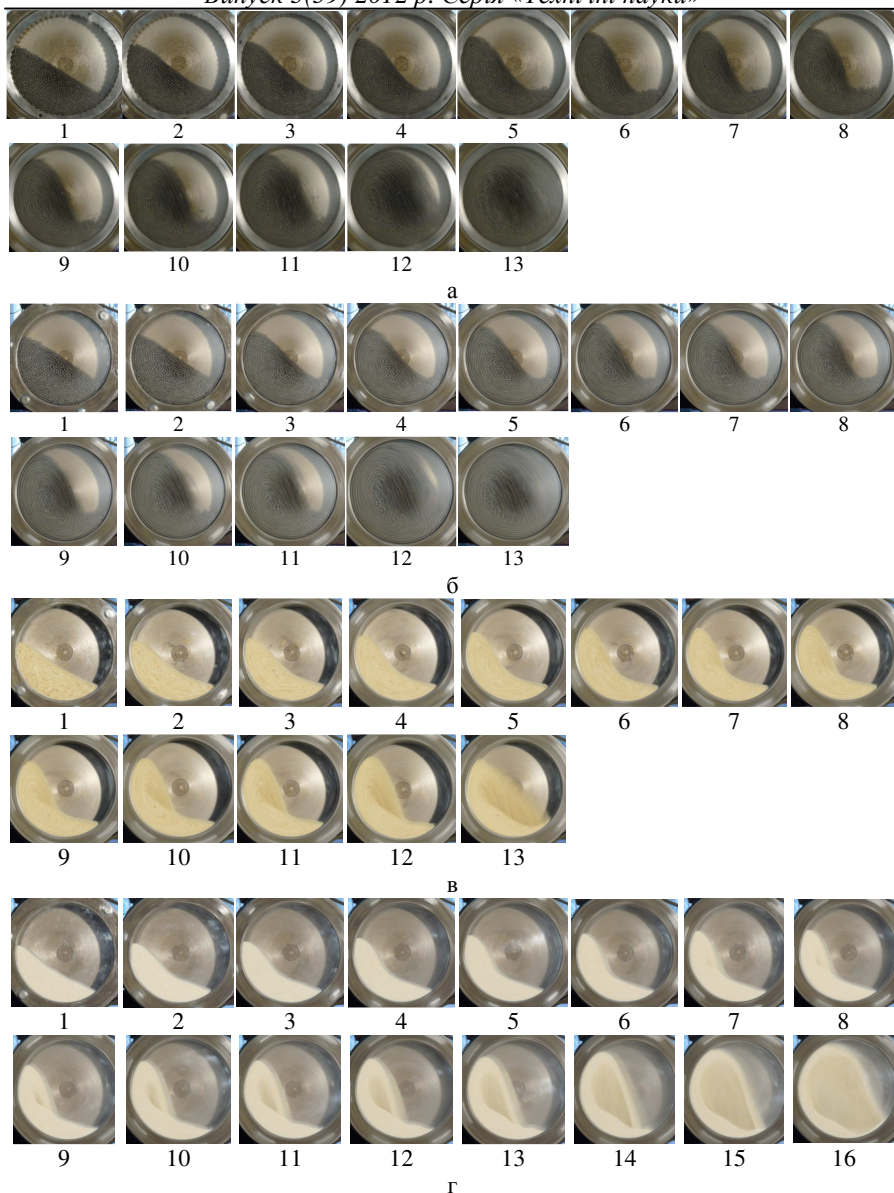


Рис. 3. Усереднені картини руху завантаження при: а – $d/D=0,022$, хвильовій поверхні камери та $\kappa=0,4$; б – $d/D=0,026$, гладкій поверхні та $\kappa=0,45$; в – $d/D=0,01$, гладкій поверхні та $\kappa=0,3$; г – $d/D=0,0024$, гладкій поверхні та $\kappa=0,25$: 1 – $\psi_{\omega}=0,1$; 2 – $\psi_{\omega}=0,2$; 3 – $\psi_{\omega}=0,3$; 4 – $\psi_{\omega}=0,4$; 5 – $\psi_{\omega}=0,5$; 6 – $\psi_{\omega}=0,6$; 7 – $\psi_{\omega}=0,65$; 8 – $\psi_{\omega}=0,7$; 9 – $\psi_{\omega}=0,75$; 10 – $\psi_{\omega}=0,8$; 11 – $\psi_{\omega}=0,85$; 12 – $\psi_{\omega}=0,9$; 13 – $\psi_{\omega}=0,95$; 14 – $\psi_{\omega}=1$; 15 – $\psi_{\omega}=1,05$; 16 – $\psi_{\omega}=1,1$

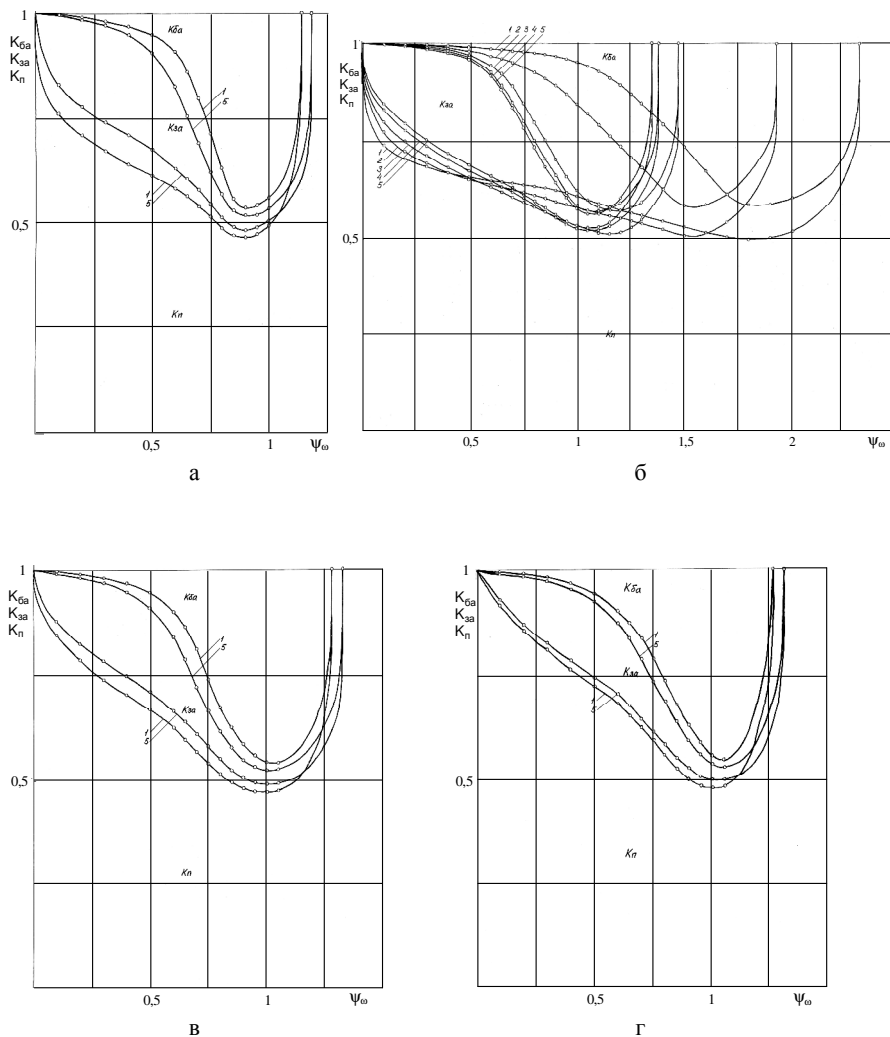


Рис. 4. Залежності $K_{ба}$, $K_{за}$ та K_n від ψ_ω при: а – $d/D=0,022$ та хвильові камері, б – $d/D=0,026$ та гладкій камері, в – $d/D=0,01$ та гладкій камері, г – $d/D=0,0024$ та гладкій камері: 1 – $\kappa=0,25$; 2 – $\kappa=0,3$; 3 – $\kappa=0,35$; 4 – $\kappa=0,4$; 5 – $\kappa=0,45$

На рис. 4 зображено отримані залежності масового розподілу між зонами руху завантаження $K_{ба}$, $K_{за}$ та K_n від відносної швидкості ψ_ω при $\kappa=0,25-0,45$ для чотирьох випадків роботи машин.

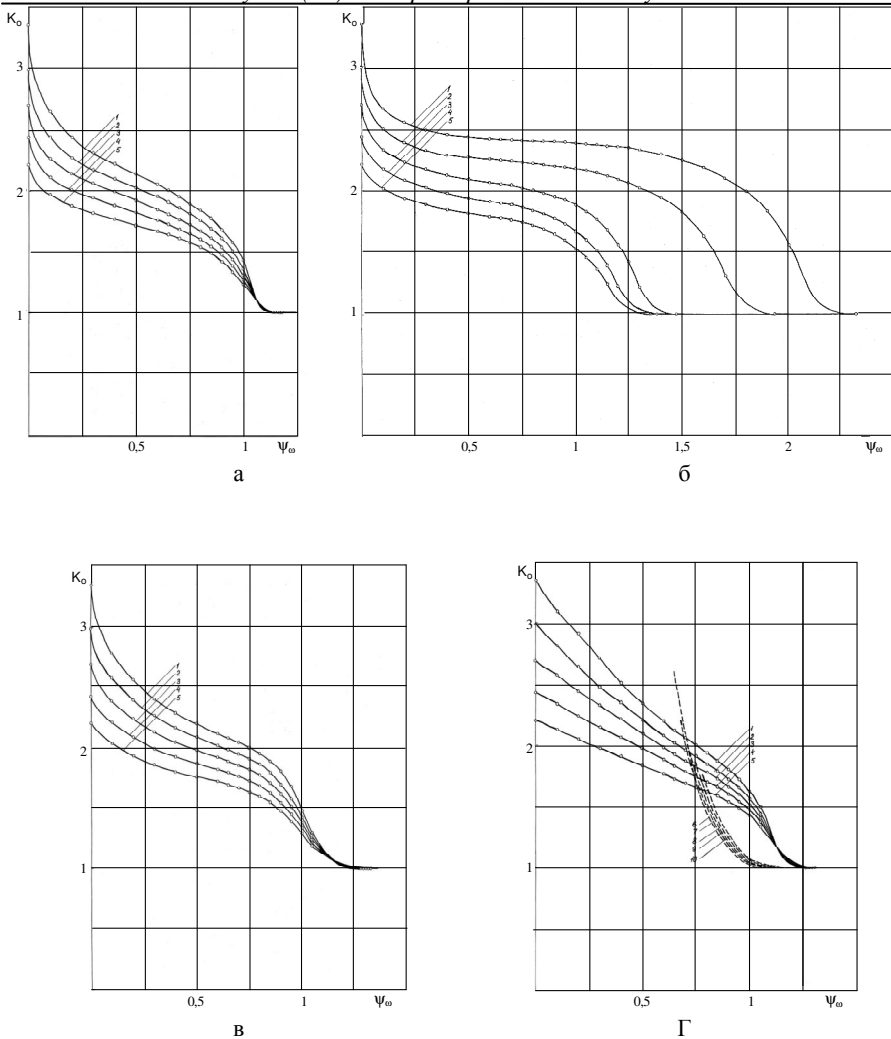


Рис. 5. Залежності K_0 від ψ_0 при: а – $d/D=0,022$ та хвильові камері, б – $d/D=0,026$ та гладкій камері, в – $d/D=0,01$ та гладкій камері, Г – $d/D=0,0024$ та гладкій камері (теоретичні позначення за існуючою методикою розрахунку: 6 – $\kappa=0,25$; 7 – $\kappa=0,3$; 8 – $\kappa=0,35$; 9 – $\kappa=0,4$; 10 – $\kappa=0,45$): 1 – $\kappa=0,25$; 2 – $\kappa=0,3$; 3 – $\kappa=0,35$; 4 – $\kappa=0,4$; 5 – $\kappa=0,45$

Максимальне значення масової частки балістичної зони $K_{\delta a}$ становить 0,41-0,3 і практично не залежить від відносного розміру елементів завантаження d/D . При цьому значення частки зсувної зони $K_{\delta a}$ становить 0,03-0,09.

Максимум $K_{\delta a}$ відповідає відносній швидкості $\psi_0=0,9-1,05$. При зношу-

ванні поверхні хвильової футерівки, у другому випадку роботи млинів, максимум $K_{ба}$ відповідає $\psi_{\omega}=1,1-1,85$, що спадає зі збільшенням заповнення камери κ .

Максимальне значення масової частки зсувної зони $K_{за}$ становить $0,18-0,33$, відповідає $\psi_{\omega}=0,35-0,5$ і знижується зі збільшенням κ та зростає зі збільшенням d/D . При цьому $K_{ба}=0,03-0,17$.

На рис. 5 зображено залежності оборотності завантаження K_o від ψ_{ω} . На рис. 5г наведено також залежності, отримані за існуючою методикою розрахунку. Зі збільшенням швидкості обертання K_o монотонно спадає від максимального значення $2,2-3,3$, на початку порушення стану спокою, до значення 1 при утворенні пристінкового шару. Зі збільшення κ оборотність зменшується. Інтенсивність спадання K_o , при збільшенні ψ_{ω} , підвищується зі збільшенням d/D .

Таким чином, на основі аналітико-експериментального методу, що полягає у застосуванні залежностей, отриманих при теоретичному дослідженні, із урахуванням експериментальних даних по візуальному аналізу картин руху, розроблено алгоритм визначення параметрів руху зернистого завантаження камери обертового барабана. Визначено залежності масового розподілу трьох зон руху та оборотності завантаження в функції відносної швидкості обертання барабана для найпоширенішого діапазону ступеня заповнення камери.

1. Дэвис Э. В. Тонкое дробление в шаровых мельниках / Э. В. Дэвис // Технология и практика измельчения. – М., Л., Новосибирск : ГНТИ, 1932. – С. 194-234. 2. Олевский В. А. Размольное оборудование обогатительных фабрик / В. А. Олевский. – М. : Госгортехиздат, 1963. – 448 с. 3. Андреев С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С. Е. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. – М. : Недра, 1980. – 415 с. 4. Крюков Д. К. Усовершенствование размольного оборудования горнообогатительных предприятий / Д. К. Крюков. – М. : Недра, 1966. – 174 с. 5. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности / П. М. Сиденко. – М. : Химия, 1977. – 368 с. 6. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / под ред. О. С. Богданова, В. А. Олевского. – М. : Недра, 1982. – 366 с. 7. Маляров П. В. О движении внешнего слоя шаров при смешанном режиме работы барабанных мельниц / П. В. Маляров, В. Ф. Степурич // Обогащение руд. – 1979. – № 2(142). – С. 29-32. 8. Юдахин Н. Н. Распределение массы загрузки в трубной мельнице при смешанном режиме / Н. Н. Юдахин // Тр. ВНИИЦемаш. – 1979. – Вып. 22. – С. 61-67. 9. Морозов Е. Ф. О механике дробящих тел барабанной мельницы при смешанном скоростном режиме / Е. Ф. Морозов // Физико-техн. проблемы разработки полез. ископаемых. – 1981. – № 6. – С. 73-80. 10. Матієга В. Механіка руху тіл, що мелють, в млинах з активційними бронефутераціями / В. Матієга // Вісн. ТДТУ: Наук. журн. – Тернопіль: ТДТУ, 1999. – Т. 4, № 2. – С. 23-29. 11. Науменко Ю. В. Основи теорії режимів роботи барабаних млинів : монографія / Ю. В. Науменко. – Рівне : Видавництво СПД Зелент О. І., 2009. – 282 с.

Рецензент: к.т.н., професор Сухарєв Е. О. (НУВГП)